



Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (i2-TIC)

Trabajo de Fin de Máster

***USO DE CÓDIGOS QR PARA LA MEJORA EN EL ACCESO Y
DISPONIBILIDAD DE RECURSOS EDUCATIVOS MEDIANTE
REALIDAD AUMENTADA***

Autor

RUBÉN HERNANDO MARTÍN (ruben.hernando@estudiante.uam.es)

Director

JOSÉ ANTONIO MACÍAS IGLESIAS (j.macias@uam.es)

Madrid, Septiembre 2013

AGRADECIMIENTOS

A mis compañeros del máster en la escuela, por ayudarme a mejorar, a trabajar y a hacerlo todo más ameno.

A todos los profesores, de los cuales no se para de aprender, y a mi tutor, que me ha guiado en todo lo necesario, exigiendo todo lo posible, con razón.

A mi mujer, Laura, por darme el apoyo que necesitaba y compartir la ilusión en aprender, y a mi hija, Adriana, que sin saberlo me ha dado fuerzas para seguir adelante con todo.

La realización del presente trabajo ha sido posible gracias a la subvención del proyecto TIN2011-24139 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, y del proyecto S2009/TIC-1650 financiado por la Comunidad de Madrid.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el estudio de dos tecnologías que, si bien llevan años evolucionando, con la llegada de las últimas tecnologías y en especial con los avances en dispositivos móviles, han tenido un notable aumento en su uso y se han dado a conocer en mayor medida al público en general. Estas tecnologías son los códigos QR y la Realidad Aumentada. Tras un estudio detallado de estas tecnologías y sus actuales aplicaciones relativas a dispositivos móviles, se ha podido comprobar que existen muchas posibilidades para su aplicación, en especial en el ámbito académico.

En base a esto, se ha realizado el estudio y posterior desarrollo centrado en el usuario de un sistema que, aplicado al ámbito docente, mejorará la vida de este entorno aportando un servicio relativo al flujo de información y recursos multimedia entre educadores y estudiantes.

Mediante este sistema, los profesores dispondrán de una interfaz web mediante la cual podrán gestionar recursos multimedia e información sobre las asignaturas que impartan. El sistema se encargará del almacenamiento de esta información y la generación de códigos QR. Estos códigos QR serán los que los profesores distribuyan posteriormente a los estudiantes. En caso de posteriores modificaciones de recursos, el código QR permanece invariable, por lo que los estudiantes podrán seguir accediendo al recurso modificado con el mismo código.

Por su parte, los estudiantes accederán a esta información escaneando los códigos QR recibidos mediante la aplicación para dispositivos móviles desarrollada, de modo que el contenido, en la medida de lo posible, será presentado en forma de Realidad Aumentada sobre su dispositivo. De este modo los estudiantes podrán acceder de una manera sencilla a estos recursos independientemente de los cambios que haga el profesor sobre ellos.

Después de realizar el proceso de desarrollo del sistema centrado en el usuario final, se ha procedido a realizar un experimento sobre varios usuarios potenciales del sistema, tanto para la interfaz web, la cual usarán los profesores del centro, como para la aplicación de dispositivos móviles, cuyos usuarios serán los estudiantes. Tras este experimento, que incluía pruebas de eficiencia, eficacia y un cuestionario USE para la medición de la satisfacción del usuario, se ha comprobado que el sistema cumple con los objetivos de usabilidad, de facilidad de uso y de aprendizaje que se habían propuesto en la fase inicial de análisis.

Palabras clave— Códigos QR, Realidad Aumentada, Tecnología en la educación, Interacción Persona-Ordenador, Servicios Web

ABSTRACT

This project presents a study of two technologies that, even if they both were born several years ago, nowadays, with the arrival of the last technologies and the progress in mobile devices, they are raising awareness to general public. Those technologies are QR codes and Augmented Reality.

After a detailed study of these technologies and their current applications on mobile devices, we noticed that there is great potential for their application, especially in the academic sphere.

Based on this concept, we have made the research, user centered design and the implementation of a system that, applied to the educational scope, it will improve the everyday life of this community, contributing with a service relative to the information and multimedia resources flow between educators and students.

Using our system, teachers will have a web interface, whereby they will be able to manage multimedia resources and information related to the subjects they teach. System will store this information and will generate QR codes which, once generated, will be distributed to students by teachers. In case that a resource would need to be edited, the associated QR code won't need to be modified, so students will access to the edited resource using the same QR code.

Meanwhile, students will access this information scanning the received QR codes using the developed mobile application. The content, as far as possible, will be presented as Augmented Reality elements in their devices. Thereby student will be able to access these resources in an easy way, and QR code received in their notes will be valid even if the teacher modified the resource.

After following a user-center design and development process, we proceeded to perform an experiment on potential users of the system, both for the web, which will be used by teachers in the educational center, and for the mobile application, which will be used by the students. After this experiment, which included functionality and usability tests and USE questionnaire, we could prove that system meets usability as well as expected ease of use and learning goals.

Keywords —QR codes, Augmented Reality, Educational Technology, Human-Computer Interaction, Web Services.



TABLA DE CONTENIDO

ILUSTRACIONES	7
TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA	11
1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA	11
1.4. OBJETIVO	12
1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	12
1.6. ASPECTOS NO CUBIERTOS Y LIMITACIONES	13
1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	13
2. TRABAJO RELACIONADO	15
2.1. CÓDIGOS QR	15
2.2. REALIDAD AUMENTADA	16
2.3. APLICACIONES	17
2.3.1. REALIDAD AUMENTADA SOBRE CÓDIGOS QR	18
2.3.2. ÁMBITO EDUCATIVO	18
2.4. ANÁLISIS COMPARATIVO	19
3. PROPUESTA	21
3.1. ANÁLISIS	21
3.2. DISEÑO	22
3.2.1. INTERFAZ WEB	23
3.2.2. APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES	23
3.2.3. SERVIDOR WEB	23
3.2.4. BASES DE DATOS	25
3.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FINAL IMPLEMENTADO	25
3.3.1. INTERFAZ WEB	25
3.3.2. APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES	29
3.4. ESCENARIOS DE USO DEL SISTEMA	32
3.4.1. CREACIÓN DE UN RECURSO	33
3.4.2. RECUPERACIÓN DE UN RECURSO	39
3.4.3. ENVÍO DE INFORMACIÓN SOBRE ASIGNATURAS	42
3.4.4. CONSULTA DEL TABLÓN DE ANUNCIOS	42
4. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN	45



4.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN	45
4.2. EXPERIMENTO SOBRE LA INTERFAZ WEB	47
4.2.1. PARTICIPANTES	47
4.2.2. TAREAS A REALIZAR	48
4.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4.3. EXPERIMENTO SOBRE LA APLICACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES	53
4.2.2. PARTICIPANTES	53
4.2.3. TAREAS A REALIZAR	54
4.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
4.3. DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO	58
4.3.1. INTERFAZ WEB	58
4.3.2. APLICACIÓN MÓVIL	59
4.3.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS EXPERIMENTOS DE LAS DOS APLICACIONES	60
5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	62
5.1. CONCLUSIONES	62
5.2. TRABAJO FUTURO	63
MEJORA DE LA EFICACIA	63
AUMENTO DE USABILIDAD Y ACCESIBILIDAD	63
ENLACE CON PLATAFORMA DE GESTIÓN EDUCATIVA	63
APLICACIÓN MÓVIL MULTIPLATAFORMA	63
AUMENTO DEL TIPO DE RECURSOS SOPORTADOS	64
REFERENCIAS	65
ANEXOS	69
CUESTIONARIOS DE USABILIDAD PARA LAS SESIONES DE PRUEBAS	69
FORMULARIO PARA LA INTERFAZ WEB	69
FORMULARIO PARA LA APLICACIÓN MÓVIL	74
INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	79
INTERFAZ WEB	79
APLICACIÓN MÓVIL	81
CÓDIGO FUENTE DEL SISTEMA	83
CONTRIBUCIONES EXPEPCIONALES	83
PUBLICACIÓN EN EL CONGRESO SINTICE 2013	83
APLICACIÓN PUBLICADA EN LA APPLE STORE	94



ILUSTRACIONES

Fig. 1: Estadísticas de propietarios de Smartphone mayores de 16 años, por país [6]	10
Fig. 2: Escaneo de códigos QR en Europa [10]	15
Fig. 3: Estructura de un código QR	16
Fig. 4: Aplicación de Realidad Aumentada basada en el enfoque de Lente Mágica	17
Fig. 5: Despliegue arquitectónico de la aplicación	22
Fig. 6: Diagrama con los controladores y acciones	24
Fig. 7: Diagrama de las entidades usadas	25
Fig. 8: Mapa del sitio web de la interfaz	26
Fig. 9: Pantalla de Inicio para un usuario de la interfaz web	26
Fig. 10: Pantalla con la lista de asignaturas	27
Fig. 11: Formulario de asignatura	27
Fig. 12: Pantalla con el listado de recursos	28
Fig. 13: Formulario de recursos	29
Fig. 14: Pantalla de inicio de la aplicación	29
Fig. 15: Vista de la selección de asignaturas	30
Fig. 16: Vista de la función de escaneo	31
Fig. 17: Imagen mostrada en Realidad Aumentada	31
Fig. 18: Caso de uso para la gestión del contenido por parte del profesor	33
Fig. 19: Diagrama de secuencia de la creación de recursos por parte del profesor	34
Fig. 20: Pantalla de inicio para insertar usuario en la aplicación	35
Fig. 21: Pantalla principal del usuario en la interfaz	35
Fig. 22: Lista de Asignaturas existentes	36
Fig. 23: Formulario de inserción de asignatura	36
Fig. 24: Pantalla con la lista de recursos y la opción de crear uno nuevo	37
Fig. 25: Formulario de creación de un nuevo recurso	38
Fig. 26: Autocompletado de la asignatura	38
Fig. 27: Caso de uso para la recuperación de contenidos por parte del estudiante	39
Fig. 28: Descarga de la aplicación en la AppStore	39
Fig. 29: Pantalla de inicio de la aplicación móvil	40
Fig. 30: Dispositivo buscando el código QR	40
Fig. 31: Diagrama de secuencia para la recuperación de contenidos con la aplicación móvil por parte del estudiante	41
Fig. 32: Resultado de recuperar el recurso del código QR	41
Fig. 33: Inclusión de un anuncio para una asignatura	42
Fig. 34: Selección de las asignaturas en el dispositivo	43
Fig. 35: Diagrama de secuencia de la recuperación de anuncios en la aplicación por parte del estudiante	43
Fig. 36: Mostrado de un mensaje de una asignatura en el dispositivo	44
Fig. 37: Navegadores usados por los participantes en el experimento	48
Fig. 38: Grado de éxito de las tareas del experimento web	49
Fig. 39: Comparación de medias de tiempos de tareas en el experimento de la interfaz web	51
Fig. 40: Representación de los valores de usabilidad	53
Fig. 41: Frecuencia de uso de aplicaciones que precisan la cámara del dispositivo por los participantes del experimento	54
Fig. 42: Grado de éxito de las tareas en el experimento de la aplicación móvil	55



<i>Fig. 43: Comparación tiempos aplicación móvil</i>	56
<i>Fig. 44: Representación de los valores del formulario USE para la aplicación móvil</i>	58
<i>Fig. 45: Gráfica de la comparación de Facilidad de Uso y Satisfacción</i>	61
<i>Fig. 46: Uso de sistemas operativos móviles en España [50]</i>	64



TABLAS

<i>Tabla 1: Análisis comparativo de aplicaciones relacionadas con la Realidad Aumentada y los códigos QR</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 2: Estadísticas del tiempo de ejecución de las tareas en el experimento de la interfaz web</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 3: Datos del cuestionario USE para la interfaz web</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 4: Tiempos empleados en el experimento de la aplicación móvil</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5: Resultados del test de usabilidad para la aplicación móvil</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 6: t-test de los valores de los cuestionarios USE</i>	<i>60</i>



1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años, ha habido un aumento progresivo en el número de usuarios de *smartphones* y *tablets*[1][2]. Actualmente, el porcentaje de usuarios de estos dispositivos sobrepasa el 80% de la población en los principales países desarrollados, como vemos en la Fig. 1. Esto ha provocado el surgimiento de numerosas aplicaciones orientadas al uso y explotación de las capacidades de estos dispositivos móviles[3]. Dentro de estas aplicaciones, destacan dos campos en los cuales ha habido aportaciones singulares que explotan las capacidades técnicas y el contexto de uso en los dispositivos móviles: los códigos QR [4] y la realidad aumentada [5].

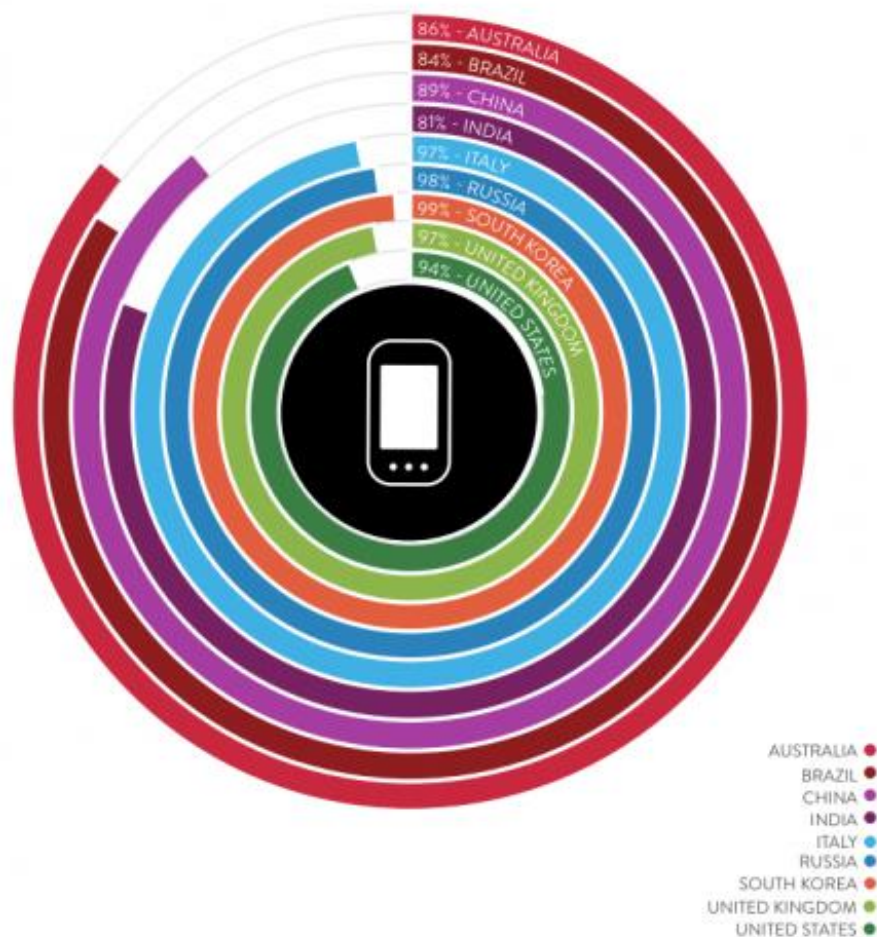


Fig. 1: Estadísticas de propietarios de *Smartphone* mayores de 16 años, por país [6]

Los códigos QR son códigos bidimensionales, los cuales son capaces de contener información de distinto tipo y son legibles mediante una cámara y un sencillo software de lectura. Últimamente han aumentado las aplicaciones basadas en el uso de esta tecnología, en especial

aquellas que hacen uso de los códigos QR en el ámbito del marketing.

Por otro lado, la Realidad Aumentada es una tecnología mediante la cual se sitúan sobre la vista del mundo real elementos aumentados de distinto tipo, para complementar esta visión con información útil para el usuario.

Tras elaborar un análisis de varias de las aplicaciones más destacadas basadas en estas dos tecnologías hemos podido comprobar que, a pesar de los avances realizados, estas aplicaciones poseen ciertas carencias en lo que se refiere a aspectos de la interacción Persona-Ordenador y la usabilidad. En primer lugar, la generación de contenido aumentado para las interfaces suele ser difícil de gestionar para usuarios con un perfil tecnológico bajo, ya que en los casos en los que se permite, los formatos de esta información son muy poco flexibles. Un ejemplo es la aplicación Onvert [7], la cual precisa de conocimientos en diseño gráfico y herramientas de diseño avanzadas para poder añadir contenido aumentado, lo cual excluye de la gestión de contenidos a usuarios no expertos en este dominio.

Además de esto, hemos notado que es posible explotar estas tecnologías en ámbitos académicos, ya que ofrecen un modo sencillo de enviar e intercambiar información entre los distintos miembros de la comunidad universitaria. Desde el punto de vista del estudiante, el hecho de obtener la información por medio de una aplicación, resultado del desarrollo de estas tecnologías, aportaría un mayor atractivo y mejoraría su motivación[8], lo que sería beneficioso para el desarrollo del curso. El profesor, por otro lado, podría organizar y distribuir con más facilidad los recursos entre sus estudiantes, siempre que la aplicación fuera sencilla y no precisara de un periodo excesivo de aprendizaje.

1.2. HIPÓTESIS DE PARTIDA

A partir de este contexto, se ha desarrollado el presente trabajo, basado en las siguientes hipótesis de partida:

- **H₁:** Es posible crear un sistema que cubra las necesidades en el ámbito académico relativas a la gestión de recursos y el flujo de información, de modo que exista una comunicación ágil entre profesores y estudiantes sin entorpecer la labor docente, basada en las tecnologías de los códigos QR y la Realidad Aumentada, usando para ello una interfaz web, por parte de los profesores, y una aplicación para dispositivos móviles, por parte de los estudiantes.
- **H₂:** Es posible crear el sistema descrito en **H₁** mediante un proceso ingenieril centrado en el usuario con el objetivo de maximizar la usabilidad de dicho sistema. De este modo, el sistema no requerirá tener conocimientos informáticos específicos ni para la gestión de contenidos, por parte del profesor, ni para la recuperación de los mismos por parte del estudiante. En definitiva, el sistema interactivo desarrollado será fácil de usar y de aprender.

1.3. SOLUCIÓN PROPUESTA

De acuerdo al problema expuesto y a las hipótesis definidas, hemos efectuado el diseño e

implementación de un sistema en el cual el profesor será capaz de gestionar los recursos que desee llegando a más estudiantes de una sola vez[9]. Esto se llevará a cabo mediante el uso de códigos QR generados por el sistema, y distribuidos a los estudiantes. El sistema constará de dos elementos principales:

- Una **interfaz web** de autoría de recursos, mediante la cual el profesor podrá gestionar tanto los recursos multimedia como la información relativa a las distintas asignaturas de las que imparta clase. Esta interfaz generará automáticamente códigos QR a partir de estos recursos, los cuales serán distribuidos a los estudiantes.
- Una **aplicación para dispositivos móviles**, con el objetivo de que los estudiantes puedan recuperar la información generada de una manera sencilla e intuitiva, y puedan así mejorar la disposición, recepción y calidad de los contenidos que necesitan para el estudio de las asignaturas.

En base a estas premisas, el estudiante sólo necesita su *Smartphone* para poder acceder a los recursos y contenidos que procuren los profesores, de una manera fácil y transparente. Tras escanear el código QR provisto, estos contenidos, siempre que sea posible, se mostrarán sobre la pantalla de su dispositivo, sustituyendo al código inicial mediante técnicas de Realidad Aumentada.

1.4. OBJETIVO

Mediante este sistema, el objetivo es conseguir facilitar este flujo de información desde el personal docente a los estudiantes, de manera que el uso de las aplicaciones mejore la vida cotidiana de ambos. La ventaja principal para los profesores será tener a mano una forma rápida de poder distribuir los recursos multimedia, con la posibilidad de editar estos contenidos en caso necesario, sin la necesidad de tener que redistribuir este material. De cara a los estudiantes, serán capaces de acceder a dicho material mediante su *Smartphone*, sin tener que cargar con ningún material adicional, teniendo accesibles los recursos de la misma manera que hasta ahora, con la ventaja adicional de que pueden ser actualizados sin volver a imprimirlos o descargar de nuevo el material original.

1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Teniendo en cuenta la solución propuesta, y de acuerdo a los objetivos buscados, las principales ventajas que aporta este trabajo son las siguientes:

- Permitela gestión de recursos multimedia a usuarios no expertos en informática: dada la sencillez del sistema implementado, permitirá a profesores de cualquier disciplina el uso correcto del mismo.
- Facilita el acceso a la información y recursos a los estudiantes: dado que los estudiantes no precisan de más instrumentos que su dispositivo móvil, el acceso a los recursos se simplifica.
- Agiliza el flujo de la información entre profesores y estudiantes: una vez distribuido el código QR, el sistema permite la edición del recurso asociado sin la necesidad de

modificar el código en sí, de modo que los estudiantes obtendrán la información actualizada en el momento y de un modo transparente.

Como desventajas menores del sistema, se citan las siguientes junto con su posible solución:

- Incompatibilidad de dispositivos: Los estudiantes que no usen un *Smartphone* compatible tendrían menos oportunidades para recibir esta información. Para reducir este impacto, habría que intentar dar soporte a la mayoría de las plataformas.
- Posible rechazo por parte del personal docente: algunos profesores podrían desestimar el uso de la interfaz, ya que podrían preferir métodos tradicionales para la distribución de recursos y el envío de información. Es posible dar información y concienciación en ese sentido.
- Periodo de implantación: sería necesario un tiempo de implantación, en el que tanto los estudiantes como los profesores aceptaran y se acostumbraran al nuevo sistema. Esto supondría una actividad de validación beta en un entorno de producción real.
- Necesidad de conexión a internet del dispositivo móvil: Al necesitar recuperar los datos del servidor web, es necesario el uso de los datos de red del dispositivo. Es posible solucionar esto en parte mediante un sistema de caché, de modo que cuando se descargue el recurso, se almacene en la memoria del dispositivo, y cuando no esté disponible la conexión, se muestre el último recurso almacenado asociado a ese código QR.

1.6. ASPECTOS NO CUBIERTOS Y LIMITACIONES

Tras la implementación del sistema, han quedado por cubrir ciertos aspectos, con los que se deberá continuar trabajando en el futuro:

- Soporte al resto de plataformas móviles: la aplicación para móviles está desarrollada para el sistema operativo iOS de Apple, por lo que sólo un porcentaje de los estudiantes podrían tener acceso al sistema. Para poder implantar el sistema se debería cubrir el mayor número de plataformas posibles.
- Soporte de distintos formatos de archivo: el sistema actualmente soporta los ficheros de tipo imagen y vídeo reproducibles en el dispositivo iPhone, además de mensajes de texto plano para transferir información. De momento no está preparado para otros formatos, como ficheros comprimidos o PDF.

1.7. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Esta memoria de Trabajo Fin de Máster se estructura de la siguiente forma:

- En la sección 1 – Introducción, se han presentado los conceptos principales sobre el problema abordado junto con las hipótesis de partida. En la sección 1.3. Solución propuesta se ha descrito brevemente la solución propuesta, con sus objetivos, ventajas y limitaciones.

- En la sección 2 -Trabajo relacionado, veremos un estudio sobre las dos tecnologías tratadas en mayor detalle, que son los códigos QR y la Realidad Aumentada, junto con ejemplos de aplicaciones actuales de dichas tecnologías en la actualidad. A estos ejemplos acompaña un estudio comparativo de estas aplicaciones, gracias al cual hemos educido ciertos requisitos para la realización de nuestro sistema.
- Posteriormente, en la sección 3 -Propuesta, se muestra nuestra propuesta de sistema, donde se ha realizado un proceso con las fases de análisis, donde se detallan los requisitos funcionales y de usabilidad educidos, el diseño del sistema, con detalles sobre la arquitectura y librerías usadas, y los casos de uso que muestran el funcionamiento del sistema.
- Tras esta descripción del sistema, en la sección 4 -Evaluación y discusión, incluimos el experimento sobre usuarios potenciales de ambas aplicaciones y el análisis detallado de los resultados obtenidos.
- Finalmente, en la sección 5 -Conclusiones y trabajo futuro, mostramos las conclusiones obtenidas tras la implementación del sistema y el análisis de los datos obtenidos tras el experimento, y las líneas de trabajo para dar continuidad al trabajo presentado.

2. TRABAJO RELACIONADO

A continuación, detallaremos ciertos conceptos y sistemas que nos ayudarán a poner en contexto nuestro trabajo. Para ello, se mostrarán las tecnologías tratadas, su evolución y sus características técnicas. Posteriormente, mostraremos un conjunto de aplicaciones que se apoyan en ellas, tanto en el ámbito comercial como en el orientado al aprendizaje.

2.1. CÓDIGOS QR

Los códigos QR fueron ideados en 1994 por la compañía DENSO Wave, de Toyota [4]. El objetivo era poder clasificar las piezas de repuestos de una manera rápida y sencilla. Desde entonces, el uso se ha ido extendiendo considerablemente, pasando de este uso meramente industrial a un uso en diferentes aplicaciones del mundo cotidiano, siendo hoy en día muy usados en el marketing[10].

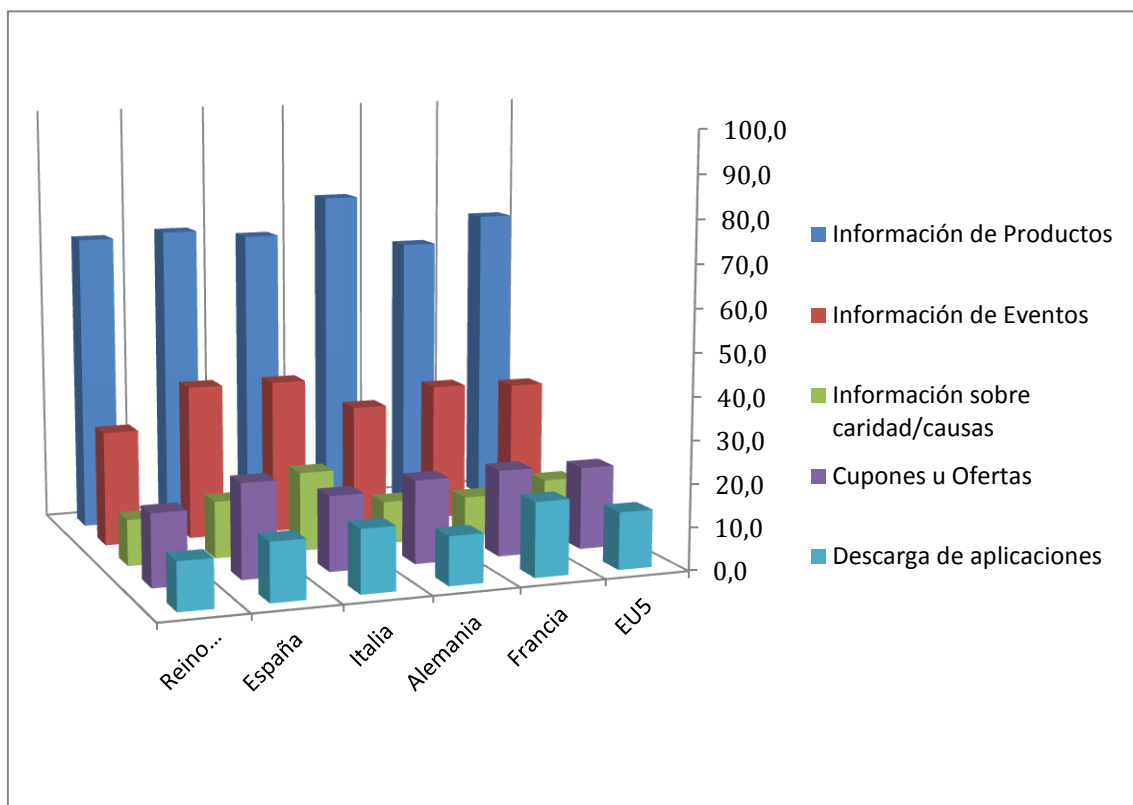


Fig. 2: Escaneo de códigos QR en Europa [10]

El último estándar que rige la codificación de los códigos QR es el ISO/IEC 18004:2006[11]. Mediante este sistema de codificación, se permite la corrección de errores gracias al algoritmo Reed-Solomon[12], que puede llegar hasta un nivel de corrección del 30%. Este algoritmo divide la información en grupos de bits, llamados símbolos, y efectúa la detección mediante polinomios. Se puede detectar una cantidad de errores igual a la de símbolos de control

introducidos, y realizar la corrección de la mitad de estos símbolos de control. La estructura de un código QR, mostrada en Fig. 3, consiste en tres marcadores de posición, señalados con 4.1 en la figura, que se utilizan para reconocer rápidamente el código a través del escáner. También contienen un patrón de alineación, indicado con 4.2 en la figura, para detectar la inclinación respecto al lector y acelerar la lectura. En el interior del código se hallan los patrones de *Timing*, marcados con 4.3, para conocer fácilmente el tamaño del símbolo. Entre los datos mezclados con los símbolos correctores existen zonas reservadas para indicar la versión y el formato del código, señalados con 1 y 2, respectivamente. Las zonas marcadas con 3 en la figura, indican aquellas destinadas a los datos y a la corrección de errores comentada anteriormente.

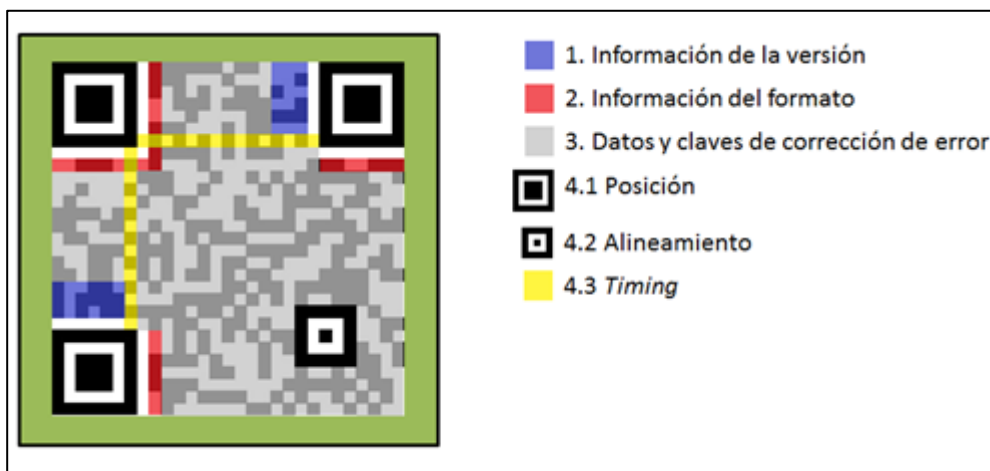


Fig. 3: Estructura de un código QR

Los datos contenidos en estos códigos QR pueden ser de tipo numérico, alfanumérico, binario (ISO-8859-1) o Kanji/Kana (Shift JIS X 0208). Para nuestro sistema, se usarán códigos de tipo alfanumérico, mediante los cuales se puede llegar a almacenar hasta 4.296 caracteres.

2.2. REALIDAD AUMENTADA

El otro campo abordado dentro del trabajo es la Realidad Aumentada. Esta tecnología consiste en una vista física del mundo real donde se insertan ciertos elementos aumentados, como sonidos, vídeo, gráficos o datos de GPS [5]. La primera implementación de un sistema de este tipo fue ejecutada en 1965, por Ivan Sutherland [13]. Este diseño consistía en un *display* montado en un casco mediante el cual se podía visualizar un cubo digitalizado flotando en el mundo real. Este primer prototipo tenía grandes limitaciones, ya que el usuario del sistema no podía interactuar con los elementos aumentados. Desde entonces, esta tecnología ha ido evolucionando notablemente, mejorando tanto la experiencia de usuario como el realismo de los elementos aumentados en los sistemas. El hardware usado también ha evolucionado, y en la actualidad la forma más extendida de implementar estas aplicaciones es a través de dispositivos móviles con cámara integrada. Estos dispositivos actualmente ya disponen de todo el hardware necesario para la ejecución de este tipo de aplicaciones, siendo el único problema o limitación el relacionado con la eficiencia de los terminales, ya que en su diseño prima el

ahorro de batería frente al aprovechamiento de prestaciones de las que están dotados a nivel interno [14]. Dentro de las posibilidades de implementación de estos sistemas, se pueden distinguir entre el “espejo mágico”, donde el *display* se sitúa tras el área de captura de la cámara, haciendo de espejo, y la “lente mágica”, donde el usuario mira a través del *display*, donde verá los elementos aumentados [15], del modo que se muestra en la Fig. 4. Este último enfoque, el de la lente mágica, ha sido el usado para el diseño de las partes de realidad aumentada del sistema.

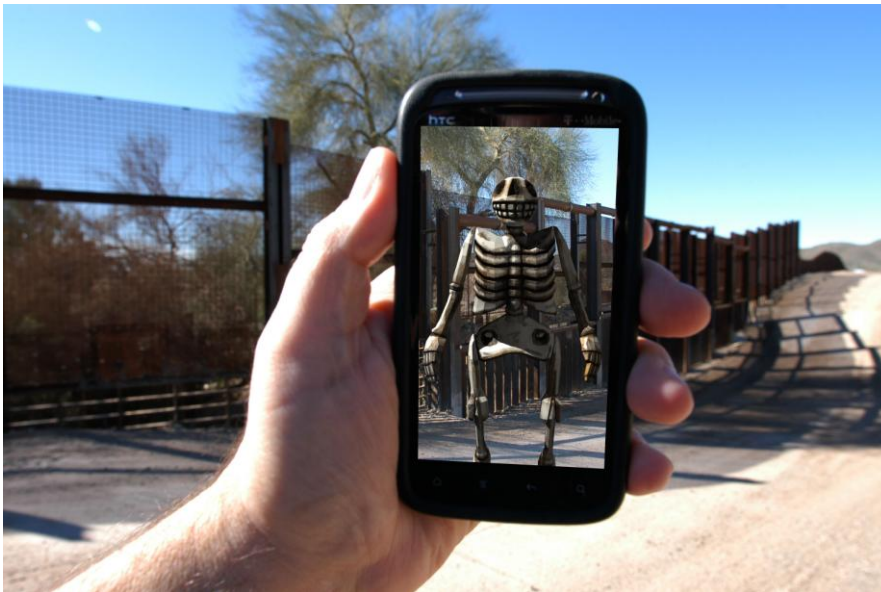


Fig. 4: Aplicación de Realidad Aumentada basada en el enfoque de Lente Mágica

2.3. APLICACIONES

Previo al diseño de nuestro sistema, se ha elaborado un estudio detallado sobre aplicaciones que abarcan las tecnologías descritas anteriormente. Las aplicaciones basadas en los códigos QR se pueden distinguir entre las que llevan a cabo la parte de generación de los códigos y las que efectúan el escaneo de éstos. Dentro del ámbito de la generación, las aplicaciones móviles suelen estar limitadas a un rango de opciones, orientadas a compartir contactos o ubicaciones de GPS. Ejemplos de estas aplicaciones son QR Droid[16]o QRafter[17], que también permiten generar códigos a partir de eventos de agenda, textos o *tweets*. En nuestro sistema, la autoría de códigos se efectuará mediante la interfaz web, donde encontramos también variedad de aplicaciones que permiten esta generación. En su mayor parte, las aplicaciones web van ligadas a aplicaciones propias para dispositivos móviles. Aun así, la mayor parte permiten una tipología limitada de contenido, siendo lo más común una dirección URL, un contacto (en forma de vCard [18]), un evento del calendario (con formato iCalendar [19]) o un texto. Este es el caso, por ejemplo, de QRStuff [20], que a pesar de tener más de 20 tipos de formatos distintos en los que se puede almacenar la información del código QR, la mayor parte de ellos son distintas direcciones de sitios web a las que se redirige con el contenido del código como parámetro.

Las aplicaciones de escaneo y lectura de los códigos QR varían en función de la meta perseguida por la entidad que los genera, aunque mayoritariamente se basan en un mecanismo a partir del cual, una vez reconocido el código, redirigen la aplicación a una URL en el navegador del dispositivo. En algunos casos este contenido también puede mostrar los datos de un contacto o un texto. En estas aplicaciones, el código escaneado contiene una cadena de texto con la URL o los datos a mostrar por el terminal. De hecho, en algunas ciudades se utilizan como medio para enlazar a páginas con información sobre monumentos junto a los que están situados [21], facilitando la identificación y documentación de cara al turista o transeúnte. Además de estas aplicaciones de uso cotidiano y generalmente comercial, en algunos trabajos previos se ha tratado de aplicar los códigos QR para ayudar a personas invidentes [22] asociando sonidos o grabaciones de voz a códigos vinculados a objetos, facilitando así su reconocimiento.

En cuanto a la Realidad Aumentada, hay una gran variedad de aplicaciones de este tipo. Las más atractivas son las que muestran un aumento del mundo real mediante la visualización de información sobre los elementos que se encuentran en el visor. Un ejemplo es la aplicación Theodolite [23], que aprovecha los componentes hardware del dispositivo para mostrar sobre el visor elementos topográficos del terreno que se está visualizando.

2.3.1. REALIDAD AUMENTADA SOBRE CÓDIGOS QR

No es difícil ver aplicaciones que asocian ambas tecnologías, sobre todo orientadas al ámbito del marketing. En éstas, el código QR actúa tanto de marcador para realizar el *tracking* [15] como de fuente de datos para recoger la información necesaria al mostrar un recurso en el dispositivo, ya sea una imagen o un video. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es Onvert [7], ya presentada anteriormente. Este tipo de aplicaciones nos resulta interesante de cara a nuestro estudio, ya que el sistema completo consiste en una aplicación de autoría que se encarga de la generación de códigos QR y la vinculación a éstos de contenido multimedia, y una aplicación que se ejecutará en los dispositivos móviles, y recuperará la información obtenida en el código QR presentado mostrando la información, cuando lo permita el formato, superponiéndola al código, haciendo este de marcador para el *tracking* [24].

2.3.2. ÁMBITO EDUCATIVO

Se ha podido comprobar que en el ámbito educativo no se explotan estas tecnologías suficientemente. En especial, en la Realidad Aumentada aplicada a los dispositivos móviles se encuentran ciertos problemas de rechazo por parte de los profesores, ya que es complicado introducir avances tecnológicos en el sistema educativo [25]. Aun así, encontramos algunos trabajos relacionados en los que sí se aplican, como juegos interactivos orientados al aprendizaje [26]. Este es el caso de LearnAR [27], que por medio de marcadores superpone sobre la vista de la cámara del dispositivo dibujos relacionados con la materia a estudiar. También, la aplicación HELLO (*Handheld English Language Learning Organization*) [28] adopta las tecnologías de códigos QR y Realidad Aumentada para ayudar a mejorar el nivel de inglés de los estudiantes. Esta aplicación comprende un sistema *m-learning* (*mobile learning*), donde

los estudiantes, mediante códigos QR y una aplicación para PDA de Realidad Aumentada, interaccionan y hablan en inglés con un compañero virtual.

Encontramos también aplicaciones basadas en códigos QR, como en [29], un sistema *m-learning* en el que los estudiantes, situados en un espacio exterior natural, escanean códigos QR situados sobre elementos de la naturaleza, por medio de los cuales adquirirían información diversa sobre estos elementos. Un sistema muy similar a este se utiliza en [30], donde se usan los códigos QR para informar de preguntas y localizaciones que los estudiantes leen por medio de *tablets*.

2.4. ANÁLISIS COMPARATIVO

Tras esta descripción de aplicaciones relacionadas, hemos elaborado un estudiocomparativo, escogiendo las más representativas que hemos encontrado dentro de las distintas funcionalidades y usos a los que queremos orientar nuestro sistema final. En la Tabla 1 podemos ver un resumen de estas aplicaciones analizadas, con su descripción, ventajas y desventajas, basando el estudio en el uso y aplicación de sus funcionalidades según los manuales de las propias aplicaciones.

Aplicación	Descripción	Ventajas	Inconvenientes
Onvert [7]	Existe una interfaz web de autoría, mediante la cual se suben las imágenes al servidor y se obtiene el código QR. Posteriormente, el usuario lee el código QR y ve el resultado.	La aplicación móvil para la recuperación del contenido es sencilla de usar.	Requiere software especializado y conocimientos en diseño. Tras la lectura del QR, hay que enfocar otra imagen para ver el resultado.
Layar [31]	Interfaz web de autoría, que permite asociar recursos a páginas de revistas. Al leer la página con el dispositivo móvil, aparecerá el recurso.	La interfaz web de autoría es muy intuitiva, y permite variedad de recursos para incrustar.	En lo que se refiere a la aplicación móvil que maneja el usuario, esta es muy poco intuitiva, ya que no dispone de códigos QR, sino que el escaneo se realiza sobre una imagen de la página. Debido a esto, el usuario tiene que comprobar si existe una imagen interactiva en la página.
QRStuff[20]	Seleccionando una opción y rellenando el formulario, se genera un código QR.	Es intuitiva, y le da <i>feedback</i> al usuario, ya que permite ver	Tiene demasiadas opciones, lo que produce saturación.



		una previsualización del código QR según va insertando el contenido.	Además, el resultado en la mayoría de ellas es el mismo.
Al-khalifa 2008 [22]	Aplicación que por medio de un código QR, recupera un fichero de audio sobre el objeto donde está situado para ayudar a invidentes.	Es transparente de cara al usuario, ya que la única acción requerida para obtener la información es escanear el código QR.	Existen ciertos problemas de accesibilidad para persona invidentes, debido al uso de elementos visuales.
LearnAr [27]	Por medio de un marcador y una cámara, muestra imágenes en 3D para complementar la labor educativa, mostrando imágenes en tres dimensiones en Realidad Aumentada y consiguiendo una explicación gráfica más completa que si se tratara de una imagen impresa.	El efecto de Realidad Aumentada está muy bien conseguido.	Es necesario un ordenador con software específico y una cámara para realizar el proceso de lectura de códigos QR, no sirve con un dispositivo móvil.
H.-C. Lai et al. [29]	En un entorno al aire libre se colocan códigos QR, los cuales, al escanearlos, dan información del entorno para el aprendizaje.	Los estudiantes sólo necesitan un dispositivo móvil con cámara e internet.	El contenido hay que visualizarlo fuera de la aplicación, ya que se usa un software genérico para el escaneo.

Tabla 1: Análisis comparativo de aplicaciones relacionadas con la Realidad Aumentada y los códigos QR

Tras este análisis, hemos determinado ciertas características que deberá cumplir nuestro sistema, mejorando las desventajas de los sistemas estudiados y aprovechando sus ventajas. El enfoque que usaremos para confeccionar el diseño del sistema será similar al de Layar y Onvert, con una aplicación de autoría para generar la información y una para dispositivos móviles para la labor de recuperación de datos. Por otro lado, necesitaremos que las aplicaciones sean intuitivas y de un periodo corto de aprendizaje como en Al-khalifa 2008, y que no precisen de conocimientos específicos para su correcto uso.

Además queremos que el sistema tenga sus funcionalidades integradas, sin necesidad de que para la recuperación de la información haya que usar una aplicación externa o sea necesario navegar dentro de distintas partes de la misma para acceder a los distintos recursos. Para aumentar la usabilidad, trataremos de minimizar las opciones y disminuir las posibilidades de navegación, encargándose el sistema de adaptar las peticiones según el tipo de recurso y el contexto de un modo transparente.

3. PROPUESTA

A continuación se presenta el proceso ingenieril mediante el cual se ha creado el sistema para corroborar la hipótesis H_1 enunciada previamente. Se muestra la fase de Análisis, llevado a cabo en base al análisis comparativo elaborado anteriormente, el Diseño de la arquitectura del sistema y de sus partes, y la descripción del sistema implementado junto con sus escenarios y casos de uso más relevantes.

3.1. ANÁLISIS

El objetivo era construir un sistema que permita tanto el flujo de la información como de los recursos docentes entre profesores y estudiantes. Teniendo en cuenta el análisis comparativo realizado anteriormente, y dentro de las posibilidades tecnológicas que nos ofrecen los códigos QR junto a la Realidad Aumentada, los principales requisitos funcionales generales educidos para la aplicación fueron los siguientes:

1. Autoría de recursos: Los profesores deberán ser capaces de crear recursos y ponerlos a disposición de los estudiantes. Para ello es necesario una interfaz de usuario que lo permita de forma sencilla, y que genere automáticamente un código QR identificativo y asociado a cada recurso.
2. Gestión y modificación de recursos: Los recursos y la información deben tener la posibilidad de ser modificados sin tener que cambiar el código QR asociado, de modo que tenga el menor impacto posible a la hora de su recuperación.
3. Recuperación de recursos: El estudiante podrá recuperar los recursos y la información escaneando el código QR generado por el profesor. La lectura se realizará mediante su dispositivo móvil de forma rápida, y el contenido se mostrará en la pantalla. Así se mantendrá al corriente de las últimas actualizaciones de los recursos y de la información insertada en el sistema, recibiendo sólo aquella que sea de su interés.

Además, ya que le hemos querido dar un enfoque basándonos en la usabilidad, hemos fijado ciertos requisitos no funcionales, orientados a mejorar la usabilidad y la interacción Persona-Ordenador:

1. Simplicidad: Dado que queremos implementar un sistema apto para distintos tipos de materias, no debemos suponer que los profesores tendrán conocimientos avanzados en informática, por lo que la acción de subir un recurso ha de ser transparente y simple.
2. Facilidad de uso: Se procurará la facilidad de uso de ambas herramientas, disminuyendo la expresividad en aras de una mayor facilidad de uso y suponiendo la menor carga cognitiva posible para el usuario final.
3. Facilidad de aprendizaje: se requiere que todas las funcionalidades de la aplicación, tanto en su parte de autoría como en la aplicación móvil de lectura, sean fáciles de recordar y aprender, con el menor impacto posible para el usuario, disminuyendo la carga cognitiva y ajustando las tareas al modelo mental de los usuarios finales.

4. **Accesibilidad:** El sistema tendrá elementos y funcionalidades que permitan una mayor accesibilidad. En el caso de la interfaz web, se maximizará el número de navegadores y tamaños de pantalla desde los que se puedan llevar a cabo las tareas con el mínimo número de restricciones. En el caso de la aplicación para dispositivos móviles, se prescindirá del uso de elementos de Realidad Aumentada cuando el tipo de formato a mostrar suponga una peor visualización, como en el caso de los vídeos, que se mostrarán en modo pantalla completa.

Estos requisitos han sido evaluados y analizados posteriormente en base a las métricas de experiencia de usuario sobre producto, ISO-9241-11 [32], que permiten definir objetivos concretos de usabilidad sobre la eficacia, eficiencia y satisfacción subjetiva en el uso del sistema por parte de los usuarios finales.

3.2. DISEÑO

Teniendo en cuenta los requisitos educidos se llevó a cabo el diseño de la aplicación. Como se puede ver en el despliegue arquitectónico mostrado en la Fig. 5, la aplicación sigue el patrón MVC (modelo-vista-controlador)[33] con dos variantes en la parte de la vista: la interfaz web y la aplicación para dispositivos móviles. Estas se comunicarán con el servidor web, que se encargará de almacenar los recursos y metadatos en los almacenes de datos. A continuación se detallan los componentes de la arquitectura.

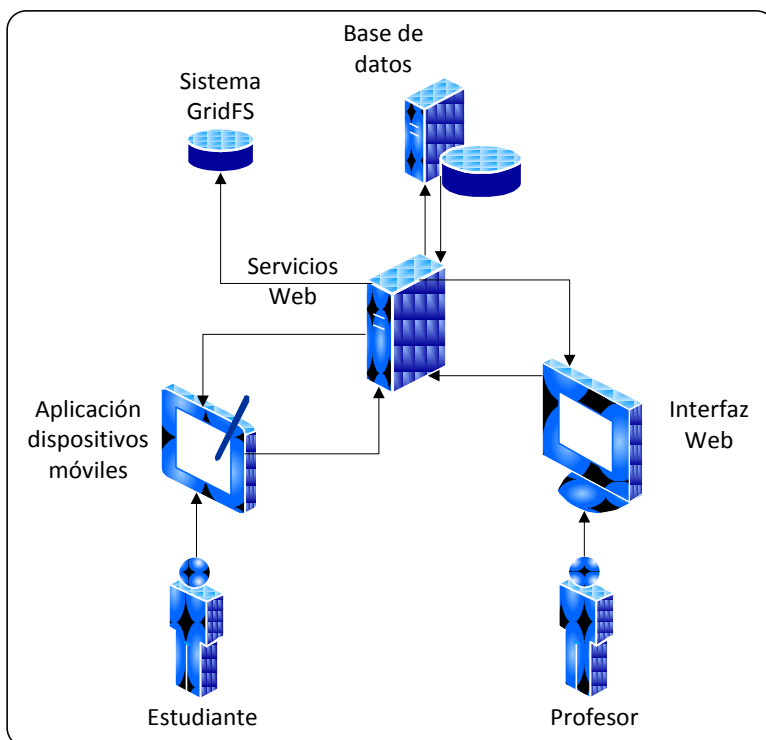


Fig. 5: Despliegue arquitectónico de la aplicación

3.2.1. INTERFAZ WEB

Esta es la parte pensada para el uso del educador, y con ella podrá acceder a una aplicación web para subir recursos educativos e información asociados a determinadas asignaturas. Esta aplicación almacenará la información y los recursos en forma de vídeos, imágenes o información. Además, contendrá información sobre las asignaturas de los distintos cursos, cuyas características podrán ser gestionadas también por los propios educadores. Al subir un recurso a la aplicación, ésta, tras almacenarlo en la base de datos, generará automáticamente un código QR de acceso, el cual podrá ser descargado y ubicado por el profesor en un lugar accesible por los estudiantes, ya sea en los propios apuntes de la asignatura o en un tablón de anuncios. Este código contendrá la información asociada a la asignatura, el tipo de recurso y los datos para obtenerlo del servidor. Se añade la posibilidad de actualizar el recurso sin necesidad de modificar el código QR generado previamente, por lo que las correcciones o modificaciones en la información serán recibidas sistemáticamente por parte de los estudiantes.

La interfaz está desarrollada con la tecnología Ruby on Rails, usando sobre la capa de presentación el framework Twitter Bootstrap[34], para dotar así a la interfaz de diseño web adaptativo (responsive web design)[35]. Mediante esta técnica, basada en su mayor parte en estilos CSS, adapta las páginas web al entorno del usuario y facilita la accesibilidad desde todos los navegadores posibles, mejorando así en lo posible la usabilidad de la interfaz.

3.2.2. APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

Esta aplicación está pensada para el estudiante, y con ella podrá escanear códigos QR para obtener y visualizar insitulos recursos educativos elaborados previamente por el profesor. La aplicación está pensada para el sistema operativo iOS de Apple. La lectura de códigos se realiza usando el framework ZXing [36], de código abierto y con la posibilidad de adaptarlo en un futuro a otras plataformas, como Android. Cuando el dispositivo reconoce, mediante la cámara, un código QR, la aplicación leerá los datos contenidos en éste y comprobará si pertenece a nuestro sistema. De ser así, solicitará al servidor de recursos la información o recurso educativo requerido para mostrar en pantalla.

El estudiante podrá configurar mediante la aplicación las asignaturas de su interés. Estas se recuperarán del servidor Web en el momento de la ejecución de la aplicación, para que estén sincronizadas con las que hayan gestionado los educadores. Para el caso de códigos de carácter informativo sobre varias asignaturas, el estudiante sólo recibirá en el dispositivo las alertas sobre aquellas que haya configurado, obviando el sistema el resto de información.

3.2.3. SERVIDOR WEB

Se trata de un API web Restful [37] que servirá tanto a la interfaz web, dando los datos necesarios para mostrar las pantallas, como a la aplicación móvil, efectuando la comunicación y sirviendo los recursos solicitados. En la Fig. 6 se ven los controladores del servidor, con las posibles acciones de servicios que ofrece. Dentro de este diagrama, cabe destacar las entidades *CodigosController* y *AsignaturasController*, que son los controladores que se

encargarán de la gestión de los recursos y las asignaturas del sistema, respectivamente. El controlador de asignaturas ofrece las peticiones REST habituales, más la acción *array_asignaturas*, servicio que será llamado desde el dispositivo móvil para obtener la lista de asignaturas almacenadas. En el caso del controlador de los recursos, además de las operaciones REST, tiene disponible la operación *info_codigo*, para la descarga del código QR correspondiente a un recurso, y *showimage*, a la cual se llamará desde el dispositivo móvil para obtener la información asociada a un código QR.

La generación de códigos QR se lleva a cabo mediante la librería de Ruby *rqrcode*[38], incluyendo dentro de los mismos la información necesaria para que la aplicación móvil reconozca los tipos e identificadores de recursos. Esta información codificada en el código consistirá en una cadena de texto, que contendrá en primer lugar un código de identificación de la aplicación, para que el dispositivo reconozca cuáles son los generados por nuestro sistema y pueda desechar los códigos QR ajenos a la aplicación. También incluirá un código de asignatura, mediante el cual el dispositivo solicitará la información o la ignorará, dependiendo de la configuración del usuario sobre dicha asignatura. Por último, en el código viajará un identificador de recurso, que será el que use el servicio web descrito anteriormente para buscar el recurso en la base de datos y entregarlo cuando reciba la petición desde el dispositivo móvil.

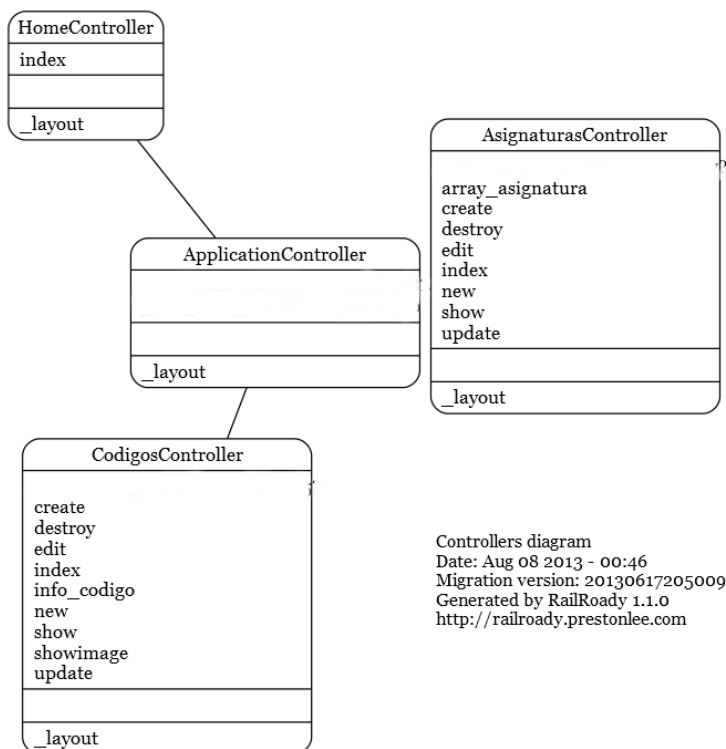


Fig. 6: Diagrama con los controladores y acciones

Este servidor se encargará también de la gestión de recursos contra la base de datos, almacenando y editando los contenidos de los ficheros que se suban, así como los metadatos

necesarios para su almacenamiento y recuperación.

3.2.4. BASES DE DATOS

Para el almacenamiento de la información de los recursos, sus ficheros y los metadatos asociados a estos, hemos implementado dos tipos de sistema. Por un lado, existe una base de datos relacional en MySQL, que contendrá la información relativa a los usuarios, asignaturas y una lista con los recursos insertados y su tipo. El diagrama de la Fig. 7 muestra las entidades existentes en la base de datos SQL con sus campos.

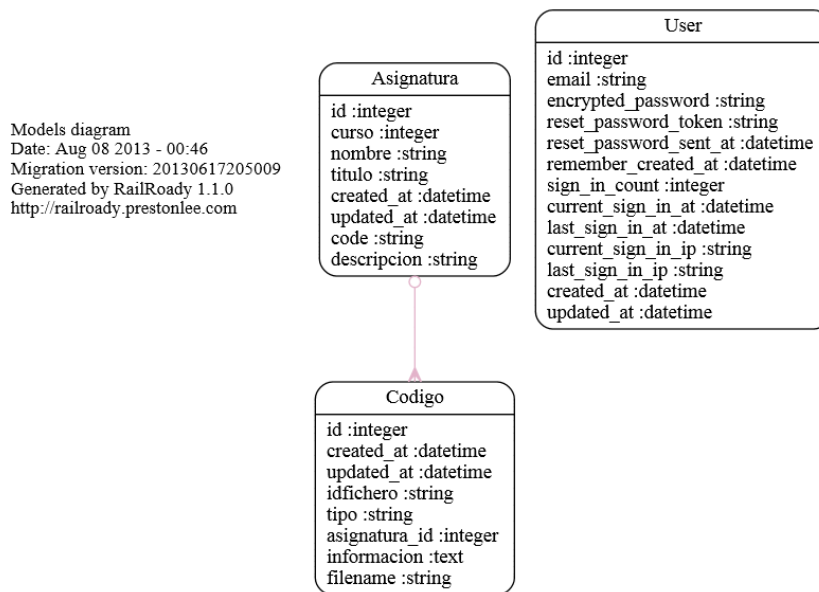


Fig. 7: Diagrama de las entidades usadas

Por otro lado, tendremos una base de datos documental, basada en MongoDB, sobre la que hemos implementado un sistema GridFS [39]. En esta base de datos se insertarán los ficheros que suban los usuarios asociados a los recursos. De esta forma se agilizará el flujo del contenido, ganando en velocidad tanto en el almacenamiento como en la recuperación de estos ficheros.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FINAL IMPLEMENTADO

A continuación se detalla la funcionalidad y aspecto del sistema final, mostrando sus partes, funcionalidades y modo de uso.

3.3.1. INTERFAZ WEB

La navegación dentro de la interfaz web, como se aprecia en la Fig. 8, está distribuida en dos ramas a partir de la página principal, con dos niveles cada una. La primera rama pertenece a la gestión de recursos y la segunda a la gestión de asignaturas.

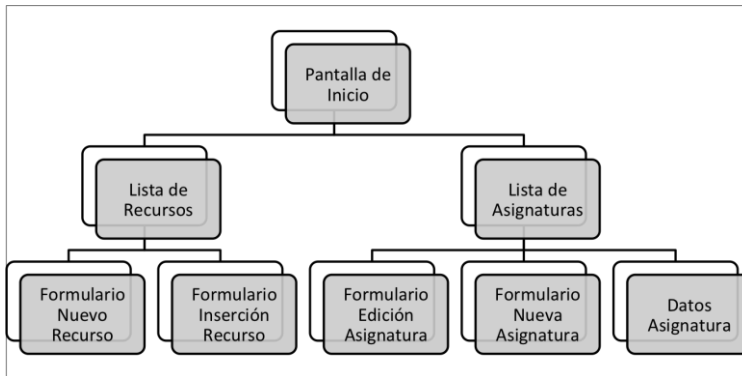


Fig. 8: Mapa del sitio web de la interfaz

Para el acceso a cualquier pantalla de la interfaz web es necesario tener un usuario registrado en el sistema. Por ello, la pantalla de acceso consistirá en un formulario para introducir el usuario y la contraseña. Una vez que el usuario ha accedido al sistema, se le presentará la pantalla principal, representada en la Fig. 9. Desde esta pantalla tendrá acceso a las otras dos pantallas principales de la interfaz: la gestión de recursos y la gestión de asignaturas.

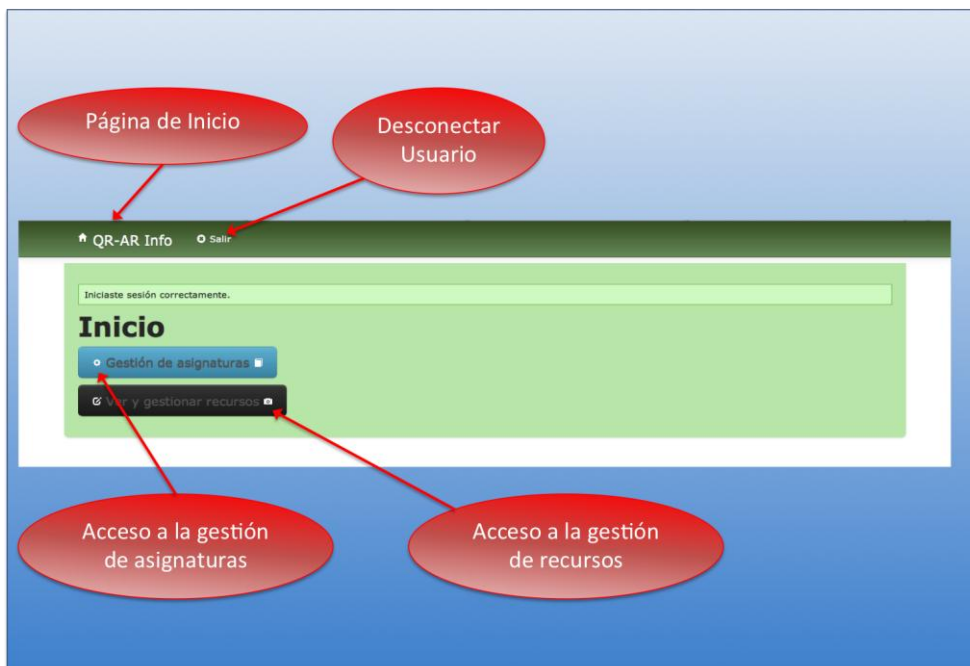


Fig. 9: Pantalla de Inicio para un usuario de la interfaz web

3.3.1.1. Gestión de asignaturas

Si desde esta pantalla de inicio accedemos a “Gestión de Asignaturas”, veremos un listado de todas las asignaturas pertenecientes al sistema (Fig. 10). Desde esta pantalla podremos eliminar la asignatura del sistema, ver la información de la misma en detalle o bien editar la información de sus campos.



Fig. 10: Pantalla con la lista de asignaturas

El formulario de las asignaturas es el mismo tanto para la creación, la edición como para la inserción de asignaturas, y se puede ver en Fig. 11. Contendrá los campos básicos, que son nombre, título académico, curso, código y una descripción opcional. Al guardar el formulario se mostrará el detalle con los datos actualizados.

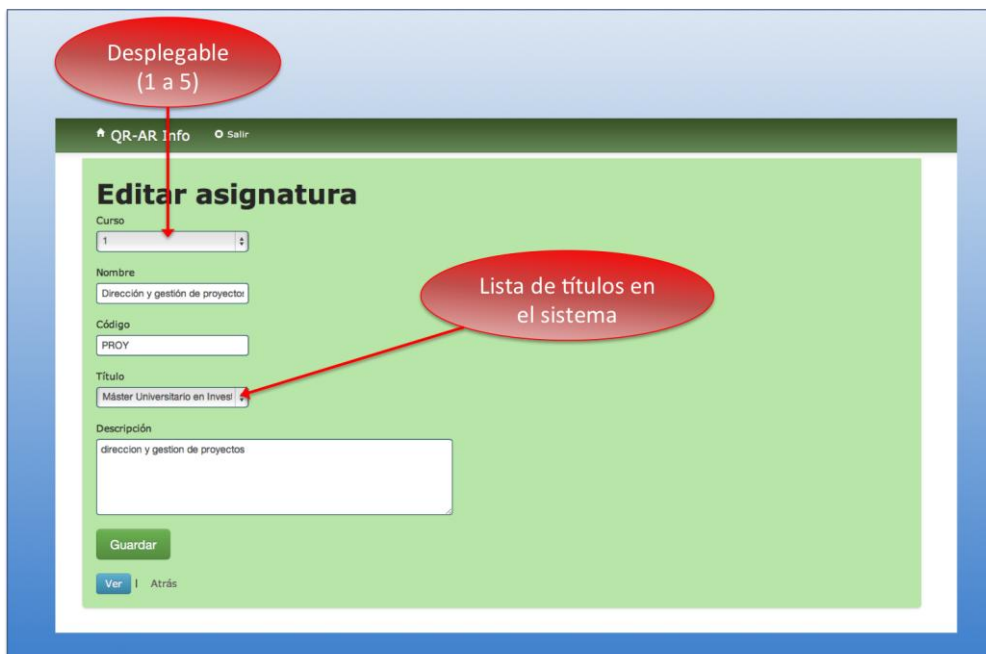


Fig. 11: Formulario de asignatura

3.3.1.2. Gestión de recursos

Si el usuario accede a “Ver y Gestionar Recursos”, verá una pantalla como la de la Fig. 12, donde se presenta la lista con los recursos del sistema. En esta lista se muestran los campos más relevantes de cada recurso, además del código QR generado y una miniatura de la imagen en caso de los recursos de este tipo. Desde aquí se podrá crear un recurso nuevo, editar uno ya existente o descargar el código QR asociado pulsando en el botón situado junto a él.

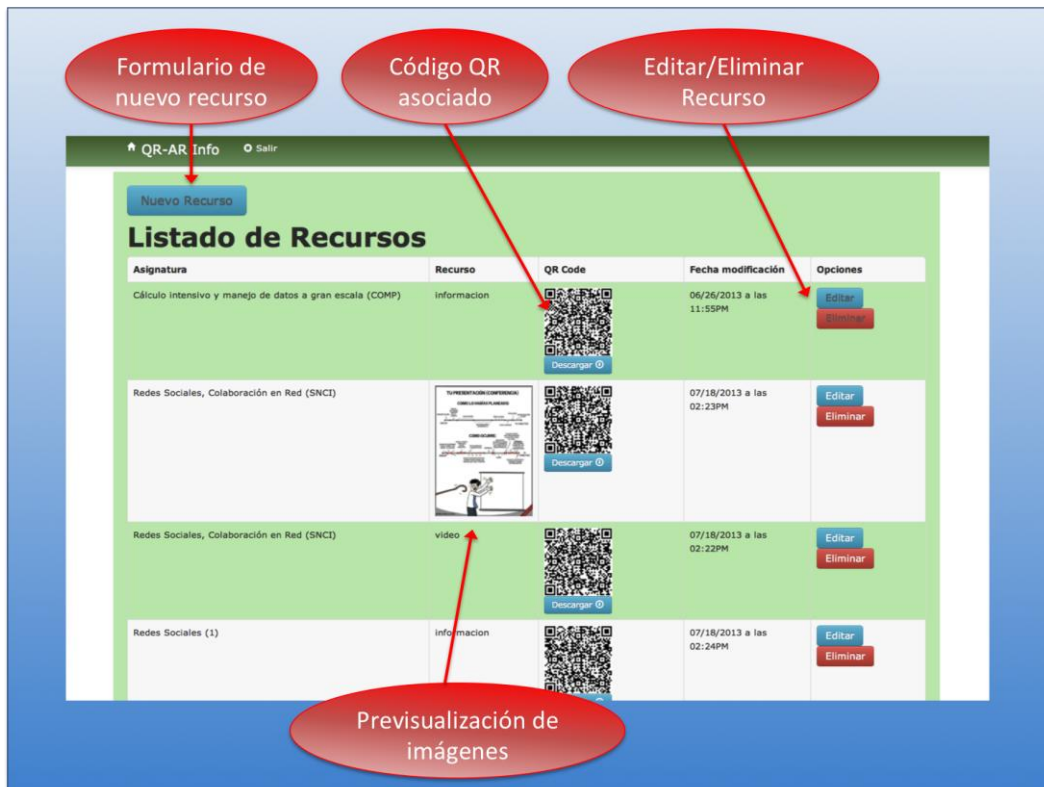


Fig. 12: Pantalla con el listado de recursos

Accediendo a “Nuevo Recurso”, veremos el formulario presentado en la Fig. 13. En este formulario se insertará el nuevo recurso, a partir del cual el Servicio Web generará el código QR asociado. Para poder guardar el nuevo recurso, habrá que rellenar todos los campos. En caso de imagen o vídeo, se deberá seleccionar un fichero, y en caso de pertenecer al tipo “información”, se rellenará un campo de texto. Una vez guardado el recurso, se presentará la lista de nuevo, donde se podrá descargar el código QR para su uso y distribución posterior.

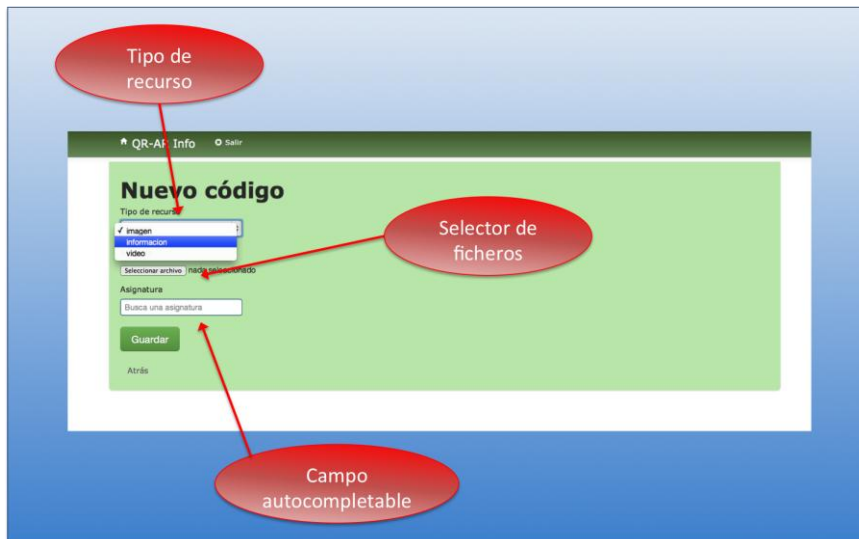


Fig. 13: Formulario de recursos

3.3.2. APLICACIÓN PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

La aplicación está desarrollada para el sistema operativo iOS de Apple, y distribuida en la AppStore bajo el nombre de “QR Info EPS-UAM”. Una vez descargada la aplicación, al abrirla aparecerán las dos únicas opciones: la de escanear un código QR y la de configuración de asignaturas (Fig. 14).

En el momento de ejecutar la aplicación, comenzará a correr un proceso en segundo plano que se encargará de solicitar al servidor la lista de asignaturas actualizadas, de modo que cualquier modificación realizada se verá reflejada en caso de acceder a la zona de configuración, de una forma totalmente transparente para el usuario.

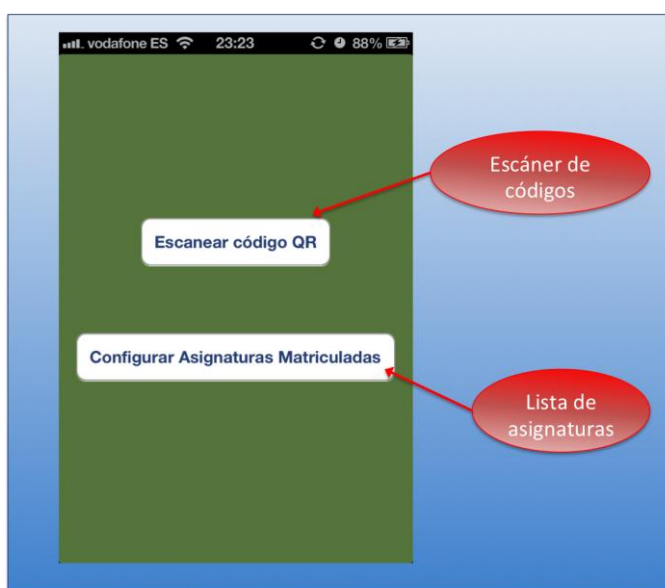


Fig. 14: Pantalla de inicio de la aplicación

3.3.2.1. Configuración de asignaturas

Pulsando en el botón de “Configurar asignaturas matriculadas” se visualizarán las asignaturas recibidas del servidor en el arranque. Se muestran en forma de lista de selección múltiple, separadas por bloques según el título y curso al que pertenecen, como se puede apreciar en la Fig. 15.

Una vez que el usuario ha finalizado la selección, pulsará el botón “Guardar” de la barra inferior, la lista de selección se almacenará en la memoria de la aplicación del dispositivo, de modo que esta lista quedará guardada para futuras ejecuciones de la aplicación. Se da también la posibilidad de retroceder a la pantalla principal sin guardar las elecciones mediante el botón “Cancelar”.

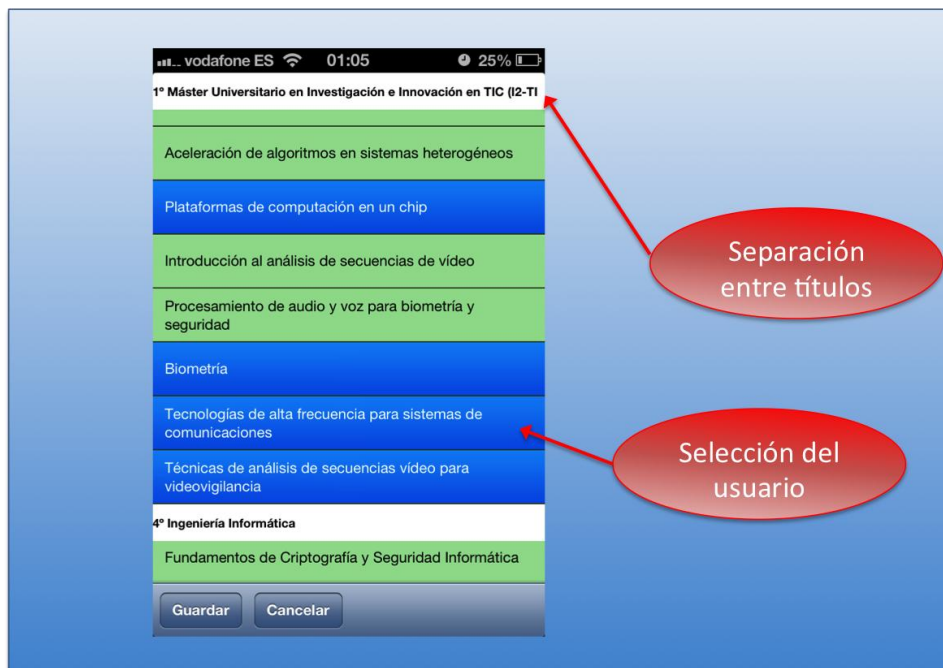


Fig. 15: Vista de la selección de asignaturas

3.3.2.2. Escaneo de códigos

Mediante el botón “Escanear un código QR” se accede a la función de escáner del dispositivo. Esto se utilizará para recibir la información asociada a un código QR generado por el sistema. La pantalla, mostrada en la Fig. 16, consiste en la vista de la cámara del dispositivo, con un borde rectangular superpuesto donde se deberá encuadrar el código hallado.

Cuando el código es detectado por la aplicación se le comunica al usuario mediante una vibración, momento en el cual se envía la información contenida en el código al servidor. Cuando llega la respuesta por parte del servidor, la aplicación muestra la información. En el caso de las imágenes, la aplicación realizará los cálculos para mostrarlas por pantalla sobre el código QR, en forma de un elemento de Realidad Aumentada (Fig. 17). Los vídeos, para

mejorar la accesibilidad, se visualizarán en pantalla completa. Los mensajes de información saldrán en forma de alerta sobre la pantalla.



Fig. 16: Vista de la función de escaneo

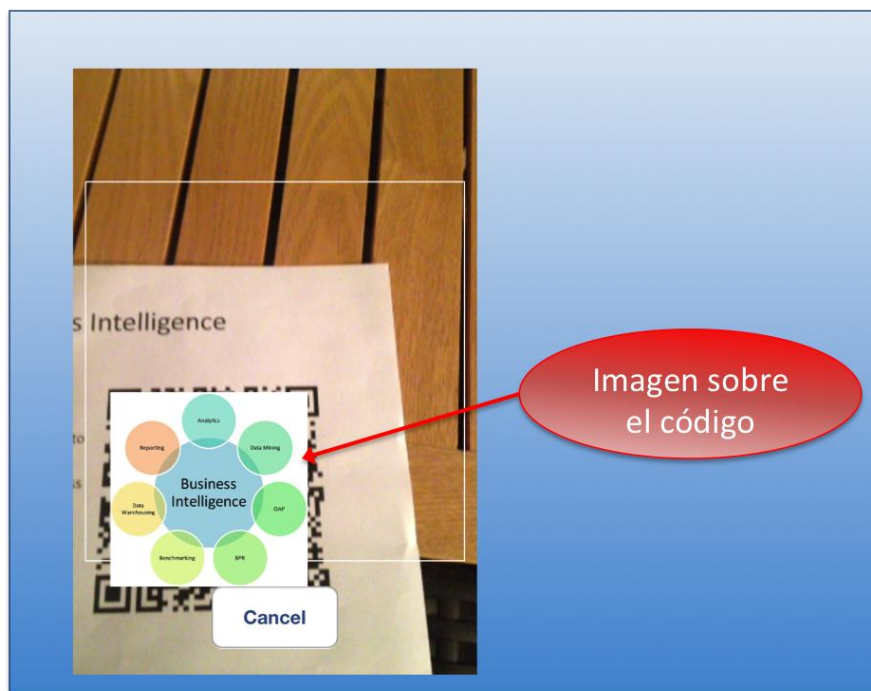


Fig. 17: Imagen mostrada en Realidad Aumentada

3.4. ESCENARIOS DE USO DEL SISTEMA

Hemos pensado que esta aplicación puede ser útil en distintos escenarios relacionados con la actividad docente.

1. El primer escenario ideado es la creación de un recurso multimedia por parte del profesor. Este recurso, en forma de imagen o vídeo, será incluido en el sistema desde la interfaz web, la cual generará un código QR asociado. Este código se distribuirá a los estudiantes, por ejemplo incluyéndolo, por parte del profesor, en los apuntes de clase, bien sea en formato impreso o digital. Los estudiantes accederán al recurso escaneando el código QR mencionado con la aplicación móvil. De esta manera, el recurso podrá ser modificado desde la interfaz web sin necesidad de regenerar el código QR asociado, y los estudiantes tendrán la información actualizada en el momento.
2. Para el segundo escenario se ha pensado en una forma de reproducir clases y conferencias de modo *offline*. Dado que el sistema permite la inclusión de recursos de tipo vídeo, es posible subir la grabación de una conferencia o un evento mediante la interfaz. De este modo, el código QR obtenido se colocaría en un lugar visible del aula, de modo que los estudiantes, al escanear el código, descargarían el vídeo en su dispositivo para así poderlo visualizar posteriormente.
3. El tercer escenario ideado para nuestro sistema es el envío de información sobre las asignaturas a los estudiantes. Del mismo modo que el profesor inserta un recurso multimedia con la interfaz web, tiene la opción de crear un registro de información asociado a una asignatura. Esta información se asociará automáticamente a un código QR genérico, situado en un lugar visible del centro. Este código funcionará a modo de tablón de anuncios, donde los estudiantes acudirán periódicamente para escanearlo con la aplicación de su dispositivo. Este código les dará la información asociada a las asignaturas seleccionadas en la propia aplicación, de modo que podrán estar al corriente de las noticias relacionadas con estas asignaturas.
4. El cuarto escenario está relacionado con este último, ya que el sistema podría aplicarse a la visualización de las calificaciones del estudiante. El estudiante escanearía en este caso un código QR especial, y el dispositivo enviaría un identificador personal del estudiante. De esta forma, el estudiante recibiría las calificaciones disponibles de las asignaturas en las que estuviera matriculado.
5. El quinto escenario extendería la funcionalidad de tablón de anuncios mencionada anteriormente, incluyendo información relativa a eventos del centro docente. En este caso, la gestión de esta información correría a cargo del personal de secretaría, e incluiría todo tipo de eventos de interés para la comunidad estudiantil en el centro. La información recibida por los estudiantes sería de distinto tipo incluyendo fechas señaladas, imágenes de carteles de conferencias, actividades de interés o información sobre fechas límite para la realización de acciones administrativas.
6. Para el sexto escenario, continuando con la gestión de recursos para asignaturas por parte de los profesores, una aplicación factible podría ser la gestión del material

bibliográfico de la asignatura en cuestión. El profesor incluiría desde la interfaz web enlaces o material en formato PDF, el cual sería descargable por los estudiantes mediante los códigos QR provistos.

A continuación, veremos una explicación detallada de los escenarios 1 y 3 descritos anteriormente, que son la creación de los recursos por parte de los profesores con la correspondiente lectura de los mismos por parte de los estudiantes, y la funcionalidad de tablón de anuncios.

3.4.1. CREACIÓN DE UN RECURSO

El profesor tiene la posibilidad de confeccionar apuntes de la manera habitual (de forma impresa o digital para su distribución), pero incluyendo imágenes y vídeos que, mediante los códigos QR, el estudiante podrá ver con la aplicación de su *smartphone*, aumentando y ampliando así la información de los apuntes.

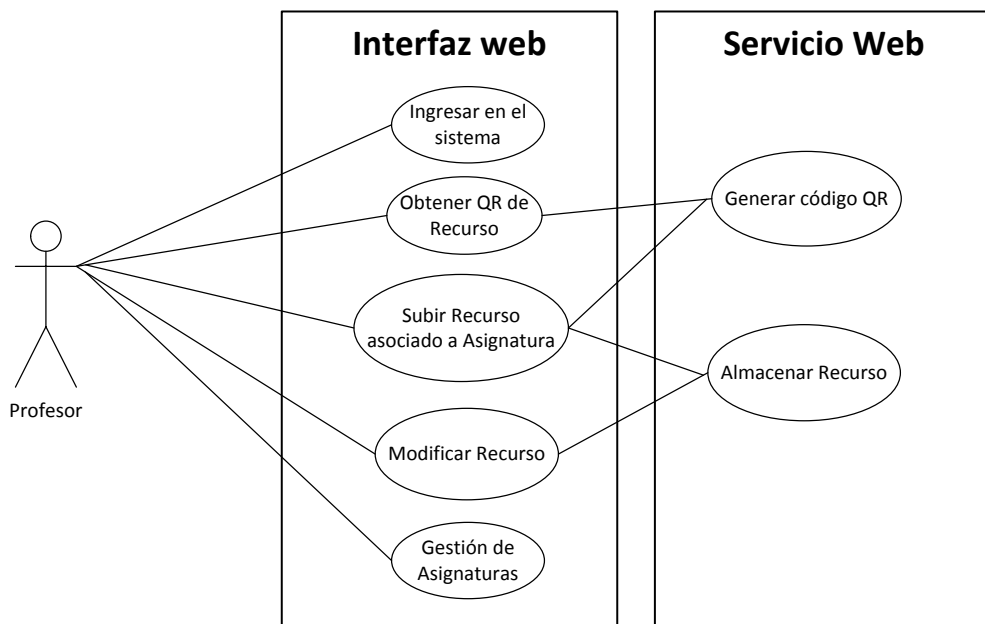


Fig. 18: Caso de uso para la gestión del contenido por parte del profesor

Este caso de uso se muestra en el diagrama de la Fig. 18, donde el profesor podrá gestionar estos recursos usando la aplicación y guardando el código QR que genera. Así el profesor podrá subir, utilizando la interfaz web, una imagen o vídeo relacionado con la temática de una asignatura, generando la aplicación un código QR asociado. Este código se podrá incluir en los apuntes o material que el profesor vaya a distribuir posteriormente a los estudiantes. Después, los estudiantes, mediante la aplicación para dispositivos móviles, escanearán el código QR distribuido por el profesor y obtendrán la imagen asociada a este código. El flujo interno del sistema lo vemos descrito en el diagrama de secuencia de la Fig. 19. La interfaz web comunicará las peticiones a los servicios, que mantienen en la base de dato las descripciones y metadatos de los recursos almacenados. Cuando el usuario sube un fichero, los servicios web

envían el contenido a la base de datos de recursos y genera el código QR, mostrándose en la interfaz web, con la posibilidad de descargarlo.

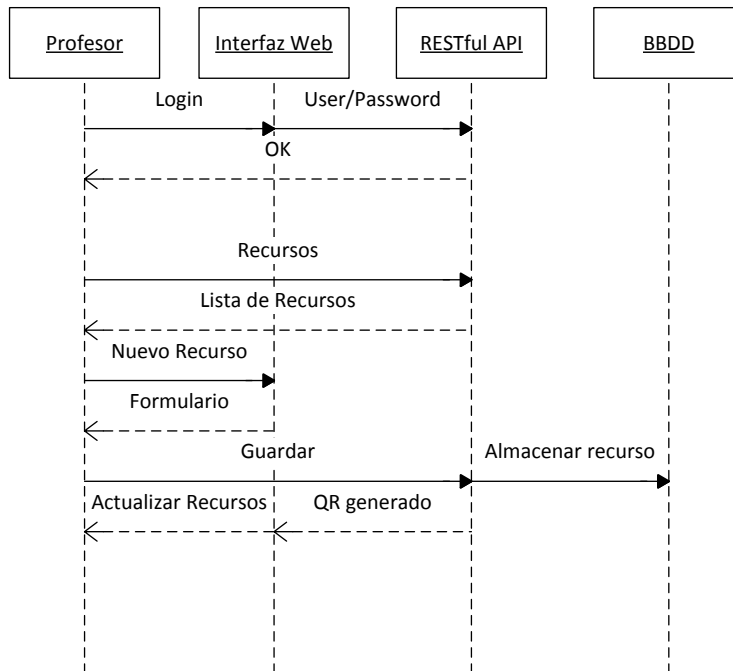


Fig. 19: Diagrama de secuencia de la creación de recursos por parte del profesor

La ventaja de este sistema es que el profesor puede decidir actualizar el recurso docente, es decir, cambiar la imagen o el vídeo por otro, pero el estudiante no tendrá que actualizar sus apuntes, ya que el mismo código QR que tiene en sus notas le permitirá visualizar, descargándose automáticamente desde el servidor, el nuevo recurso actualizado por el profesor.

A continuación mostramos en detalle el proceso mediante el cual el profesor gestiona los nuevos recursos. Primero, el usuario deberá identificarse para poder acceder al sistema. Esto se realizará mediante autenticación a través de correo electrónico y contraseña. Para ello deberá rellenar los campos indicados en el formulario, como vemos en la Fig. 20, y pulsar el botón de “Acceder”.



Tienes que registrarte o iniciar sesión antes de continuar.

Identificación de usuario

e-mail

ruben.hernando@estudiante.uan

Password

.....

☐ Recordar mi usuario

Acceder

Alta de Usuario

[¿Olvidó la contraseña?](#)

Fig. 20: Pantalla de inicio para insertar usuario en la aplicación

Una vez que el usuario ha sido autenticado, accederá a la pantalla principal, donde tendrá la opción de ir a cualquiera de las dos pantallas principales: la de gestión de asignaturas y la de gestión de recursos (Fig. 21). Desde la pantalla de gestión de asignaturas, se efectuará el alta y modificación de las asignaturas que imparta el profesor, mientras que la pantalla de recursos contiene toda la información relativa tanto a los recursos multimedia, como a las notas informativas de las asignaturas.



Fig. 21: Pantalla principal del usuario en la interfaz

En la pantalla de asignaturas, el usuario verá un listado con las asignaturas existentes, tal y como se muestra en la Fig. 22. Aquí se podrá comprobar si la asignatura existe en el sistema o es necesario crear un nuevo registro.

QR-AR Info
Salir

Listado de Asignaturas

Nueva Asignatura

Nombre	Título	Curso	
Dirección y gestión de proyectos científicos y tecnológicos (PROY)	Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (I2-TIC)	1	Ver Editar Eliminar
Cálculo intensivo y manejo de datos a gran escala (COMP)	Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (I2-TIC)	1	Ver Editar Eliminar
Iniciación a la investigación y la innovación [estancia en grupo de investigación / prácticas en empresa] (I3)	Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (I2-TIC)	1	Ver Editar Eliminar
Trabajo de fin de máster (TFM)	Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (I2-TIC)	1	Ver Editar Eliminar
Aprendizaje Automático: teoría y aplicaciones (AA)	Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC (I2-TIC)	1	Ver Editar Eliminar
Recuperación de Información (IR)	Máster Universitario en Investigación e	1	Ver Editar

Fig. 22: Lista de Asignaturas existentes

Para incluir una asignatura, bastará con pinchar en el botón señalado como ‘Nueva Asignatura’, y se accederá al formulario de inserción de asignaturas (Fig. 23), donde se deberán rellenar los campos necesarios (curso, título, nombre, descripción y código).

QR-AR Info
Salir

Nueva asignatura

Curso
1

Nombre

Código

Título
Ingeniería Informática

Descripción

Guardar

Fig. 23: Formulario de inserción de asignatura

Una vez que la asignatura esté incluida en el listado, se deberá acceder a la pantalla de gestión de recursos, donde se podrá añadir el nuevo recurso. Para ello el usuario deberá pinchar en el botón de “Ver y gestionar Recursos” de la pantalla de inicio, a la que se puede acceder en cualquier momento mediante el link de la parte superior izquierda. Una vez aquí, se accederá a la lista de los recursos existentes (Fig. 24), donde se dará la opción de crear un “Nuevo Recurso”, o bien editar uno existente.



Fig. 24: Pantalla con la lista de recursos y la opción de crear uno nuevo

Seleccionando la opción de nuevo recurso, pasará a la pantalla que contiene el formulario de creación de recursos, mostrado en la Fig. 25. Aquí deberá seleccionar el tipo de recurso a subir ('imagen' o 'vídeo' para este escenario), el fichero asociado y la asignatura para la que se mostrará el fichero. Las imágenes compatibles con el sistema son las que estén capacitadas para ser mostradas en un dispositivo móvil (JPEG, PNG y GIF). Para el caso de subir un vídeo, los formatos soportados serán MPEG4 y MOV.



Fig. 25: Formulario de creación de un nuevo recurso

Para la selección de la asignatura, se ha facilitado la experiencia del usuario de modo que basta con comenzar a escribir en el campo para ver la lista de las asignaturas existentes que concuerden con la cadena insertada, de modo que el usuario sólo tendrá que seleccionar la que desee (Fig. 26).

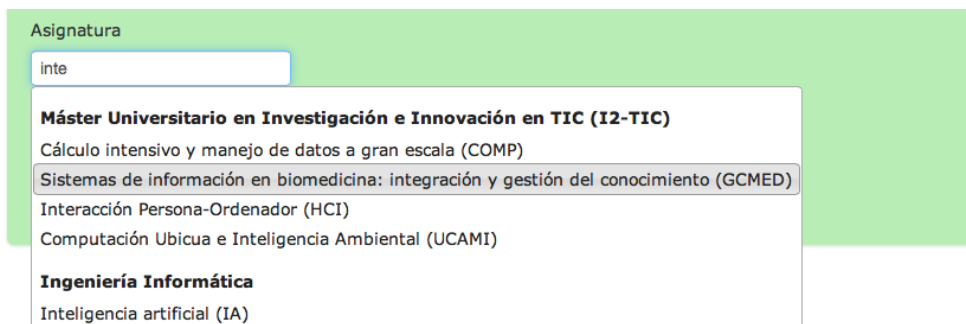


Fig. 26: Autocompletado de la asignatura

Una vez finalizado el paso de rellenar este formulario, se guardará el recurso (botón “Guardar”) y el sistema generará automáticamente el código QR que contendrá información acerca de la asignatura y del tipo de recurso seleccionado, así como un identificador para poder solicitarlo posteriormente desde el dispositivo móvil al servidor. Este código QR se podrá ver desde la misma página del listado de recursos (Fig. 24), donde está disponible un botón para poder descargar el código y guardarlo en el PC del usuario como imagen JPG. Esta página aparecerá automáticamente tras completar la operación, donde se podrá comprobar la correcta creación del recurso, ya que se puede ver el tipo, una previsualización en el caso de las imágenes y el código QR generado. Desde aquí también se podrá seleccionar de nuevo el recurso para su edición, en el caso que se desee modificar el fichero o alguno de sus datos, sin que por ello se modifique el código QR generado originalmente.

El código QR descargado será el que se distribuya posteriormente a los estudiantes, insertándolo, por ejemplo, en una presentación de PowerPoint que contenga el resto de apuntes de la asignatura.

3.4.2. RECUPERACIÓN DE UN RECURSO

Una vez que el código ha sido generado y distribuido a los estudiantes, estos podrán acceder al contenido mediante la aplicación móvil tal y como se refleja en el diagrama de caso de uso de la Fig. 27, donde el estudiante escaneará un código QR para obtener el recurso correspondiente.

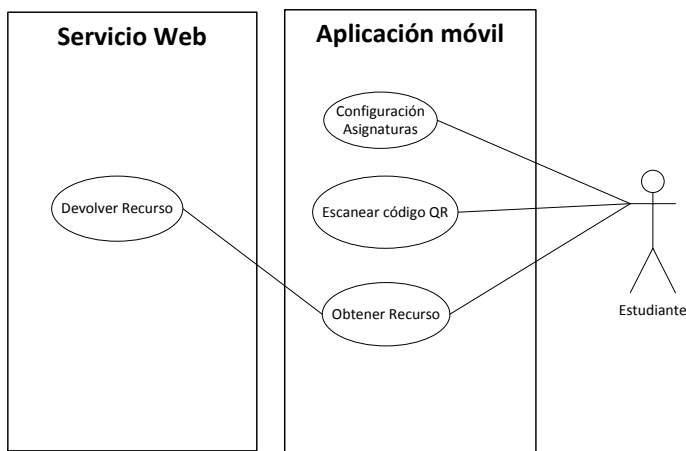


Fig. 27: Caso de uso para la recuperación de contenidos por parte del estudiante

En primer lugar el estudiante deberá descargar e instalar la aplicación desde el AppStore de iOS. Esta es la aplicación “QR Info EPS-UAM” que se muestra en la Fig. 28.



Fig. 28: Descarga de la aplicación en la AppStore

Una vez descargada la aplicación, el estudiante la ejecutará para usarla cuando encuentre un código en sus apuntes. Al iniciar la aplicación aparecerá una pantalla con dos opciones, mostrada en Fig. 29. Pulsando el botón de “Escanear código QR” se verá la imagen proporcionada por la cámara del dispositivo, de modo que se pueda enfocar el código QR que se desee escanear.

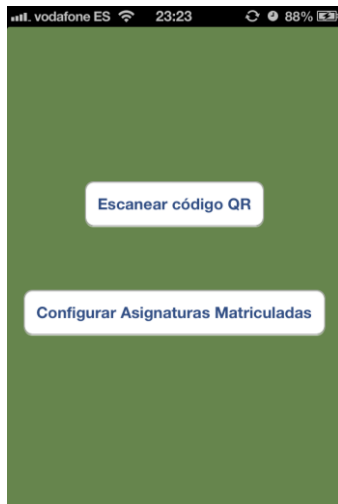


Fig. 29: Pantalla de inicio de la aplicación móvil

Como se ve en el diagrama de la Fig. 31, el dispositivo está a la espera de recibir por pantalla un código QR (Fig. 30). Cuando lo reconoce, comprueba que sea un código perteneciente al sistema, y en caso de que así sea, emitirá una vibración para notificar al usuario que el código ha sido reconocido. Posteriormente enviará la petición correspondiente al servidor web. El servidor recibirá la petición y la procesará, identificando el recurso solicitado por su ID, y devolviendo al dispositivo el contenido del archivo almacenado.



Fig. 30: Dispositivo buscando el código QR

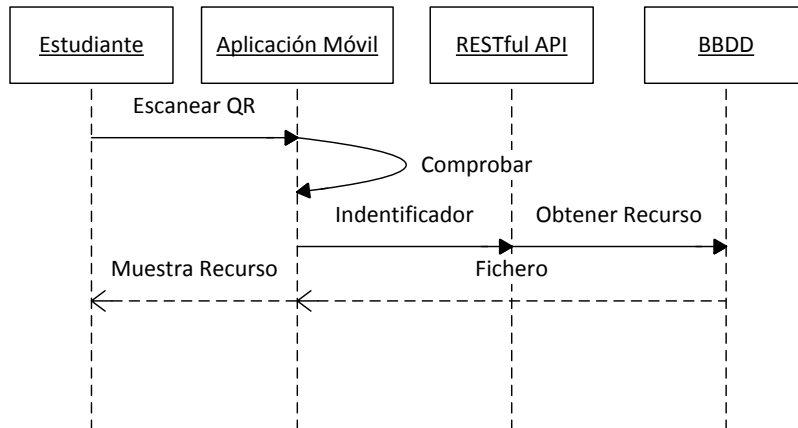


Fig. 31: Diagrama de secuencia para la recuperación de contenidos con la aplicación móvil por parte del estudiante

Cuando el dispositivo recibe la información, mostrará la imagen asociada al código QR, colocándola sobre la ubicación del código QR en la pantalla, reemplazando la vista del código por el recurso multimedia correspondiente, como se comprueba en la Fig. 32.



Fig. 32: Resultado de recuperar el recurso del código QR

3.4.3. ENVÍO DE INFORMACIÓN SOBRE ASIGNATURAS

Otro escenario de interés comentado previamente es el uso del sistema a modo de tablón de anuncios. Para este caso, los anuncios se crearán usando igualmente la interfaz en la pantalla de recursos, como se describió anteriormente. El profesor deberá seleccionar el tipo de recurso 'información'. De este modo, el formulario se modificará, permitiendo insertar un mensaje textual en lugar de un fichero, como se aprecia en la Fig. 33.



Fig. 33: Inclusión de un anuncio para una asignatura

Una vez que se guarda el formulario, la información insertada estará disponible cada vez que un estudiante consulte el código QR del tablón de anuncios. No será necesario modificar el código, ya que el servidor web realizará búsquedas sobre todos los registros de tipo información para cada petición.

3.4.4. CONSULTA DEL TABLÓN DE ANUNCIOS

El estudiante, por su parte, deberá previamente haber configurado las asignaturas de su interés en la aplicación. Esto se paso se llevará a cabo al iniciar la aplicación, accediendo mediante el botón "Configurar Asignaturas Matriculadas". En ese momento aparecerá la pantalla de configuración (Fig. 34), con un listado, agrupado por títulos, de las asignaturas disponibles. Esta lista de asignaturas se sincroniza con el servidor web mediante una petición al arrancar la aplicación, para que las modificaciones sobre la base de datos desde la interfaz tengan repercusión en la lista de la aplicación. Al pulsar el botón aceptar, la lista se guarda en la memoria del dispositivo, para estar disponible al volver a usarla aplicación.

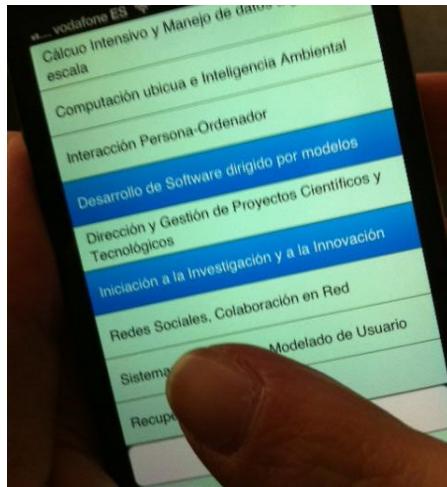


Fig. 34: Selección de las asignaturas en el dispositivo

Como vemos en el diagrama de Fig. 35, tras realizar la selección de las asignaturas, al escanear un QR del tipo ‘información’, la aplicación enviará al servidor la lista de identificadores de las asignaturas seleccionadas. El servidor ejecutará la búsqueda de todos los registros de tipo ‘información’ de la base de datos que estén asociados a asignaturas de la lista.

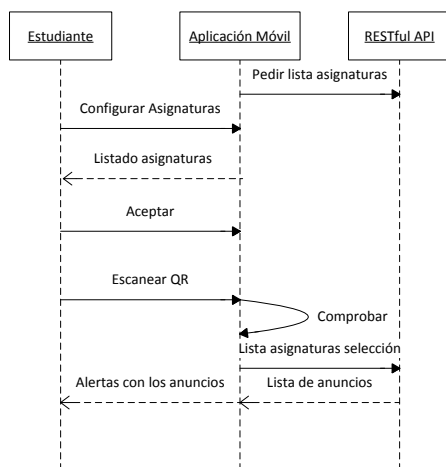


Fig. 35: Diagrama de secuencia de la recuperación de anuncios en la aplicación por parte del estudiante

Después, devolverá una lista de los mensajes asociados a estas asignaturas, y el dispositivo mostrará una alerta por cada mensaje que haya recibido del servidor (ver Fig. 36). De esta forma, el estudiante estará enterado de los eventos de las asignaturas de su interés, teniendo un punto de acceso visible y definido, para poder recibir estas alertas en el momento que lo desee.

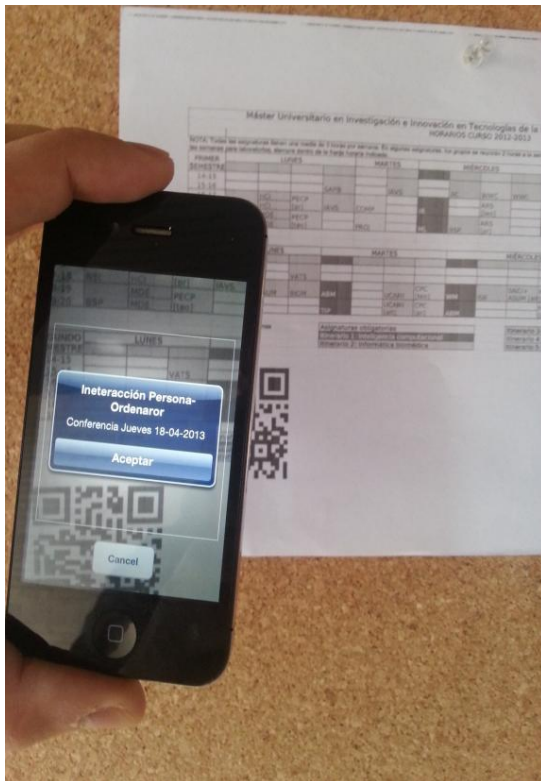


Fig. 36: Mostrado de un mensaje de una asignatura en el dispositivo

4. EVALUACIÓN Y DISCUSIÓN

Una vez realizada la implementación del sistema, se ha procedido a diseñar un experimento y a realizarlo sobre un conjunto de usuarios potenciales, para validar los requisitos funcionalidad y la usabilidad del sistema. Dado que no se ha efectuado la selección aleatoria de los grupos de estudio, se ha llevado a cabo un diseño cuasi-experimental, eligiendo los sujetos dentro del ámbito cercano del investigador.

Para la validación del sistema, hemos procedido a dividir el experimento en dos partes, una será la parte de validación de la interfaz web, y la otra la de la aplicación móvil. El objeto principal del experimento es asegurarnos de que nuestro sistema cumple con las condiciones de usabilidad expuestas en la ISO-9241-11 [40], que comprende los aspectos de eficacia, eficiencia y satisfacción de cara al uso de las aplicaciones por parte del usuario. Esto nos permitirá obtener una serie de medidas que servirán para la mejora del sistema en base a la experiencia de usuario, ayudando así a concretar unos objetivos de usabilidad más específicos en la próxima iteración.

En la parte de la interfaz web, se esperaba que los usuarios vean la aplicación como intuitiva, y que no requiera demasiado tiempo en encontrar las opciones. El tiempo de ejecución de las tareas de esta parte deberá estar limitado al de la carga de ficheros en el servidor, y no al que el usuario gaste en navegar dentro de la interfaz y rellenar los formularios. Esto se ha tratado de conseguir mediante ayudas de autocompletado en búsquedas, y ocultando los campos irrelevantes en los formularios, para permitir al usuario centrarse en los campos que tiene que rellenar.

En la aplicación móvil se esperaban unos resultados similares, ya que posee una interfaz más simple aún, con pocas opciones y separada en dos únicas pantallas, una por cada funcionalidad: la de lectura de códigos y la de gestión de configuración de las asignaturas.

4.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN

Dado que la aplicación web está pensada para ser soportada por cualquier navegador de internet, el experimento en esta parte es conveniente llevarlo a cabo en el entorno de trabajo habitual del usuario. De esta forma, por un lado el usuario se encontrará cómodo, y además tendrá a su disposición los ficheros necesarios para las pruebas.

Debido a esto, el experimento se ha efectuado de dos maneras en función de las circunstancias. La primera, quedando de modo presencial con el sujeto, en un sitio donde éste dispusiera de su propio equipo, para aplicar el método *dethinking aloud*[41]. Mediante este método, al sujeto de pruebas se le dan una serie de instrucciones, con unas tareas que debe realizar sobre la aplicación. Posteriormente, comienza el experimento en sí, donde el sujeto realiza las tareas, indicando en voz alta las acciones que va ejecutando, así como su impresión

sobre ellas. Mientras, el coordinador del test va tomando apuntes sobre los detalles reportados, procurando no interrumpir las acciones del usuario [42].

En los casos en los que una reunión no fuera viable, el experimento se ha realizado de un modo similar, pero usando el protocolo de *remote testing*[43]. Para este protocolo, se precisa de una webcam en el puesto del coordinador de la prueba y otra en el del sujeto, y se comienza una videoconferencia mediante la herramienta *Hangouts* de Google[44]. El proceso a partir de aquí es similar al descrito anteriormente, con la posibilidad de que el usuario comparta su pantalla para poder comprobar los pasos realizados. Además, se refuerzan los datos mediante los *logs* del servidor web para comprobar posteriormente las acciones del usuario. Mediante este procedimiento se obtienen los mismos resultados que con unas pruebas de laboratorio mediante el protocolo de *thinking aloud* convencional [45], por lo que es viable el combinar ambos protocolos.

En el caso del experimento sobre la aplicación móvil, se ha usado únicamente el protocolo *thinking aloud*, ya que resulta más complicado realizar la grabación de las acciones, y además era necesario proveer al usuario de material impreso adicional con los códigos QR. El material completo para este experimento consistía en un conjunto de apuntes impresos con un código QR del sistema enlazando a una imagen, una impresión de un código QR con enlace a un vídeo y una hoja con el código QR para los anuncios.

En ambos experimentos, no se realizó ningún tipo de tutorial ni explicación previa sobre el funcionamiento del sistema, tan sólo la descripción básica indicada en las instrucciones provistas a cada sujeto, que se pueden ver en el anexo (Instrucciones para la realización de las pruebas). De este modo, aunque aumenta la probabilidad de que los usuarios tengan dudas y aumente el tiempo dedicado a llevar a cabo las tareas, podemos evaluar de una manera más fiel la facilidad de uso del sistema en primera instancia y predecir la facilidad de aprendizaje hasta cierto punto.

Tras realizar las sesiones de test, los usuarios rellenaron un cuestionario de usabilidad. El cuestionario utilizado ha sido USE [46], un cuestionario muy usado, y con buenas características de fiabilidad, que reporta datos en base a cuatro dimensiones de usabilidad: utilidad, satisfacción, facilidad de uso y facilidad de aprendizaje. En concreto, se han usado dos cuestionarios distintos: uno que contenía preguntas básicas sobre las características del individuo, y otro con las 29 preguntas del cuestionario USE para las cuatro medidas de la usabilidad comentadas anteriormente. Los formularios usados pueden verse en los anexos (Cuestionarios de usabilidad para las sesiones de pruebas). Los valores de las diferentes respuestas del cuestionario USE están comprendidos en una Likert [47] de 1 a 7, donde 1 se corresponde con “Muy en desacuerdo” y 7 con “Muy de acuerdo”, siendo el resto los valores intermedios de la escala.

Para el análisis de resultados, se han obtenido una serie de métricas, considerando en el experimento tanto variables dependientes como independientes. Debido a que el sistema está ideado para un uso cotidiano y con relativa frecuencia, las métricas a tener en cuenta han sido

el éxito en la ejecución de la tarea, el tiempo empleado, y la usabilidad medida a partir del cuestionario comentado[48]. Estos datos obtenidos formarán nuestras variables dependientes. Por otro lado, las variables independientes en el experimento de la interfaz web han sido las siguientes:

- Conocimientos informáticos: los tiempos y facilidad para realizar las tareas deben estar condicionados mínimamente por los conocimientos que posea el usuario, si bien sí que debe influir en parte la frecuencia de uso de ordenadores.
- Edad: esta variable debe tener el mínimo impacto posible, debido a la usabilidad y accesibilidad del sistema.
- Navegador web usado: aunque se ha realizado el diseño de la interfaz bajo *responsive design*[35], como se explicaba en la sección 3.2.1 – Interfaz Web, cabe la posibilidad de que en algún navegador no represente los datos de la manera prevista, o surja algún error.

En cuanto a las variables independientes en el experimento sobre la aplicación móvil, sólo se tendrán en cuenta la edad del sujeto y la frecuencia de uso de aplicaciones móviles que requieran de la cámara para su funcionamiento.

4.2. EXPERIMENTO SOBRE LA INTERFAZ WEB

A continuación se muestran los datos sobre los participantes y las tareas realizadas en el experimento sobre la interfaz web de autoría del sistema, así como el análisis de los resultados obtenidos.

4.2.1. PARTICIPANTES

El perfil de usuario de la aplicación web son profesores o personal docente del centro. Dado que la aplicación no debe ser específica para ninguna rama docente en concreto, no se debe suponer que los usuarios vayan a precisar de conocimientos avanzados en informática. Por esto, los requisitos mínimos para los sujetos de pruebas serán individuos con un nivel básico de informática.

En el experimento de la interfaz web han participado 7 individuos, todos ellos hombres, de edades comprendidas entre 29 y 38 años ($M=31$, $SD=3$). El navegador más usado por los sujetos en el experimento fue Chrome (Fig. 37). En cuanto al nivel de informática, la medición se realizó mediante una escala Likert de 1 a 5, donde 1 equivalía a un nivel “Nulo” y 5 a nivel “Experto”. El nivel medio resultante de entre los participantes fue 4 ($SD=1,2$).

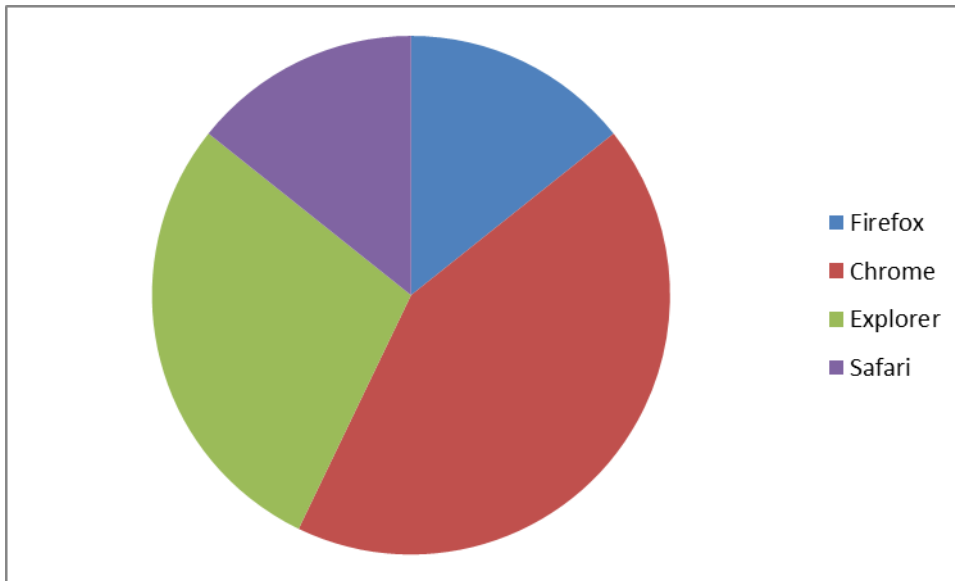


Fig. 37: Navegadores usados por los participantes en el experimento

4.2.2 TAREAS A REALIZAR

En cada sesión de test, a cada usuario se le han presentado una serie de tareas, las cuales se han definido a partir de los distintos casos de uso de los principales escenarios ideados para el sistema. Las tareas dadas para las sesiones de test en la interfaz web fueron las siguientes:

- **Alta en la interfaz web (TW₁):** El usuario, para realizar acciones en la interfaz, debe autenticarse con un usuario. Para ello, se permite que los usuarios creen un nuevo usuario en el sistema mediante su dirección de correo y una contraseña de su elección.
- **Introducir/editar una asignatura (TW₂):** Para comprobar el funcionamiento de la parte de gestión de asignaturas, se le solicita al usuario que cree una nueva asignatura asociada a uno de los títulos, o bien edite una de las existentes. Esta acción le servirá al usuario para realizar la posterior asociación de los recursos a las asignaturas.
- **Introducir una imagen en el sistema e insertar el código asociado en una presentación (TW₃):** El usuario deberá crear un nuevo recurso de tipo “imagen” asociado a una asignatura y subir una imagen existente que tenga entre sus documentos. Posteriormente, deberá insertar el código obtenido en una presentación de PowerPoint.
- **Subir un vídeo y guardar el código resultante (TW₄):** Se tendrá que crear un recurso nuevo de tipo “vídeo” y subir un vídeo existente en los documentos del usuario, asociado a una asignatura. El código resultante se debe descargar y guardar en los documentos de usuario.
- **Modificar una imagen (TW₅):** Tras la creación de un recurso previo, ahora se deberá modificar la imagen asociada, accediendo a la pantalla de edición de recurso y subiendo otra distinta en su lugar. El código QR seguirá siendo el mismo, por lo que no será preciso guardarlo de nuevo.

- **Realizar un anuncio de una asignatura (TW₆):** el usuario deberá acceder a la pantalla de recursos y crear uno nuevo de tipo “información”. Para ello, debe seleccionar el tipo oportuno en el formulario, así como la asignatura y la información deseada.

Las instrucciones dadas a cada sujeto de pruebas se pueden ver en el apartado “Interfaz Web” del anexo “Instrucciones para la realización de las pruebas”. El orden de consecución de estas tareas no fue secuencial, si no que iba modificándose para cada usuario, ya que solamente las dos primeras debían ir en el orden establecido, al conllevar acciones bloqueantes para el resto. De este modo, los resultados del experimento tendrán más fiabilidad, ya que las primeras tareas conllevan una sobrecarga en tiempo, y de este modo se intenta repartir entre todas. En el caso de las dos primeras existe esta sobrecarga, pero son acciones independientes al resto, ya que no se efectúan directamente sobre el ámbito de la gestión de recursos.

4.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La estimación de la eficacia se ha llevado a cabo mediante el grado de éxito en la realización de las tareas. Dado que en todos los casos las tareas se finalizaron, alcanzando por tanto un 100% de eficacia, para un análisis más ajustado se ha distinguido entre los casos en los que la realización de la tarea transcurrió sin ninguna pregunta o duda por parte de los sujetos, y los casos en los que el sujeto tenía dudas y era necesario responder a preguntas durante la ejecución.

Los resultados de la eficacia de cada tarea se muestran en el gráfico de la Fig. 38, donde vemos que la tarea TW₁ y la tarea TW₂ son las dos que requirieron ayuda para completarse en un porcentaje más elevado: un 28,5% y 42,8%, respectivamente. En la tarea TW₁, varios sujetos tuvieron problemas para encontrar el botón de alta en la aplicación, y hubo que guiarles para localizarlo. La razón de estas dudas fue debida en gran parte a que el usuario se encontraba usando un sistema completamente nuevo, y necesitaba cierta orientación para situarse.

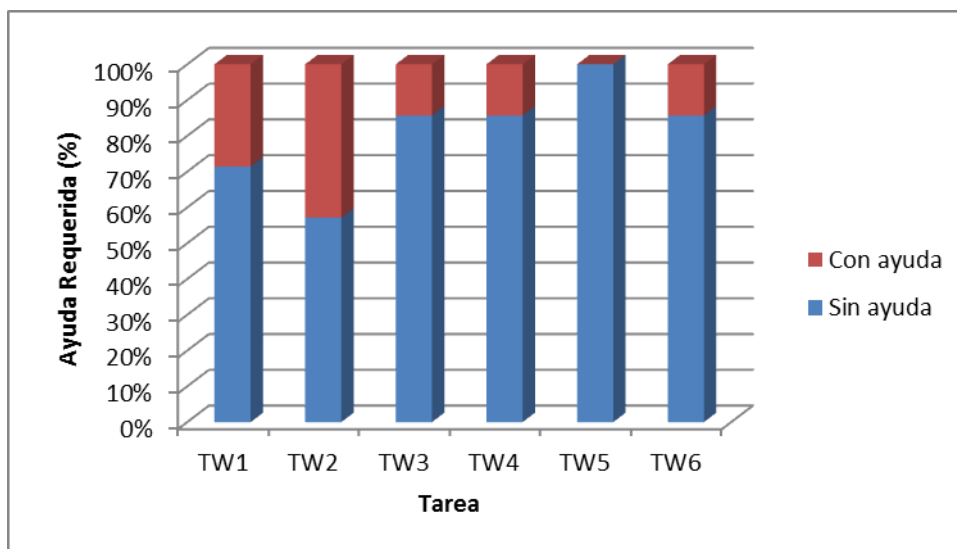


Fig. 38: Grado de éxito de las tareas del experimento web

En la Tabla 2 vemos las estadísticas de tiempo, en segundos por tarea, empleado por los usuarios en las distintas tareas realizadas en la experimentación. Para todos los sujetos, la primera tarea era la de creación de un usuario en la aplicación (TW₁) y la segunda la de la creación de la asignatura (TW₂). De esta forma, podemos determinar que la tarea de creación de usuarios, al tener la media de tiempo más baja (55,3 segundos) está optimizada y los usuarios pudieron llevarla a cabo con facilidad. Pese a ser la primera tarea solicitada en todos los casos y, aunque necesitó de ayuda en un 28,5% de los casos, ésta fue para localizar, dentro de la página, el enlace a la zona de alta de usuarios. La segunda tarea tiene una media demasiado elevada teniendo en cuenta su baja complejidad (123,7 segundos). De esto deducimos que requerirá de un tiempo de aprendizaje mayor hasta que el usuario comience a usarla con soltura, teniendo en cuenta, además, que es la que en más ocasiones requirió ayuda (42,8%).

	TW1	TW2	TW3	TW4	TW5	TW6
Media	55,3	123,7	128,3	213,1	63,6	65,7
Error típico	7,9	24,5	34,7	57,1	9,6	19,7
Mediana	51,0	136,0	96,0	150,0	66,0	51,0
Desviación estándar	20,9	64,9	91,9	151,0	25,4	52,1
Varianza de la muestra	435,9	4211,2	8441,6	22814,1	647,6	2715,9
Mínimo	30,0	43,0	55,0	51,0	24,0	29,0
Máximo	80,0	206,0	270,0	423,0	100,0	180,0
Nivel de confianza(95,0%)	19,3	60,0	85,0	139,7	23,5	48,2

unidades en segundos

Tabla 2: Estadísticas del tiempo de ejecución de las tareas en el experimento de la interfaz web

Como vemos en la Tabla 2, los intervalos de confianza son aceptables (alrededor de un minuto) excepto para la TW₄, donde se sobrepasan los dos minutos de intervalo (139,7 segundos). Usando como ejemplo la tarea TW₅, que es la que no necesitó ayuda en ningún caso y además se repetirá con relativa frecuencia durante el uso del sistema, tenemos un valor de intervalo de confianza de 23,5, que es bastante razonable, ya que significa que podemos estar seguros al 95% de que un usuario tardará entre 40 segundos y un minuto y medio en realizar la modificación de una imagen, un tiempo que se considera bastante aceptable. Para esta tarea, también tenemos una desviación muy elevada. Analizando las sesiones de experimentos llevadas a cabo, deducimos que la razón de estos valores es debido a que la tarea corresponde a la subida de vídeo, la cual estaba condicionada por el tiempo de subida del fichero. Tanto en esta tarea como en la TW₃ aumentan estos intervalos debido, también, al tiempo que los usuarios tardaban en encontrar el fichero de imagen o vídeo que querían subir.

El resto de tareas siguen el patrón esperado, ya que la creación de un recurso de vídeo conlleva un retraso equivalente al tiempo que se tarda en subir el fichero al servidor. El tiempo medio usado en la edición de imágenes (63,6 segundos) indica que los usuarios reconocían con facilidad las acciones que hay que tomar para la gestión de los recursos, dado que este tiempo es la mitad del tiempo empleado en la inserción de imágenes por primera vez (128,3 segundos). En la Fig. 39 podemos ver una representación gráfica de estos tiempos.

Respecto a las varianzas indicadas en estos resultados, observamos en algunas tareas valores muy elevados, en especial en la TW₃ (8.441) y en la TW₄ (22.814), correspondientes a las subidas de imágenes y de vídeos. Esto se debe a que estas tareas estaban condicionadas al tamaño del fichero a subir, y además, en algunos casos, el usuario se demoró un tiempo en localizar la imagen deseada dentro de sus documentos, mientras que en otros los tenía a disposición con más facilidad y su selección requería poco tiempo.

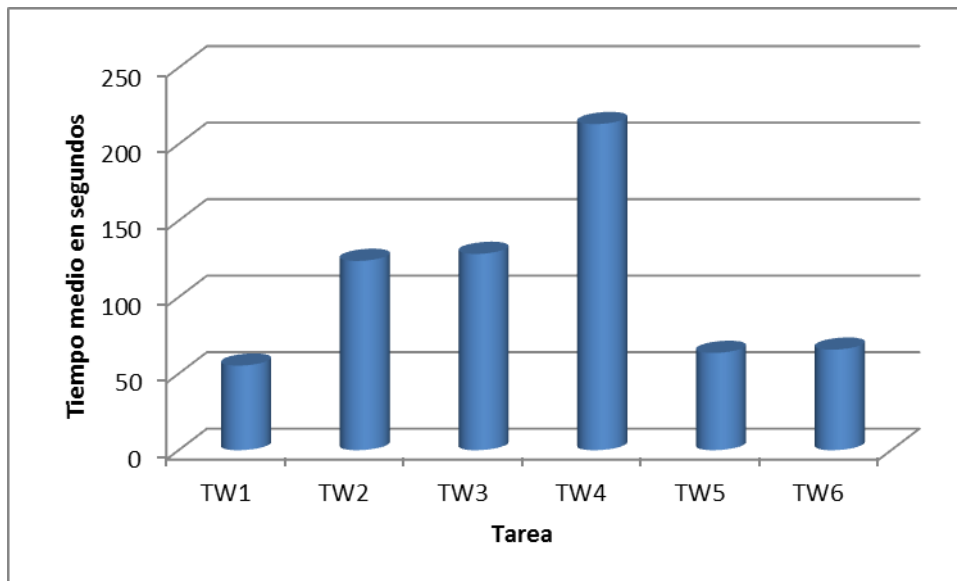


Fig. 39: Comparación de medias de tiempos de tareas en el experimento de la interfaz web

En la Tabla 3 se pueden ver los resultados de los cuestionarios USE tras las sesiones de test. Para realizar el análisis, hemos calculado el promedio en cada una de las preguntas, para obtener luego los promedios de cada una de las dimensiones y los porcentajes correspondientes. El rango de valores posibles estaba dimensionado en una escala Likert entre 1 y 7, donde 1 significa “Muy en desacuerdo” y 7 “Muy de acuerdo”.

El valor (medio en las cuatro dimensiones) de lausabilidad resultante ha sido de un 89,5%, que aunque aceptable siendo la primera iteración del sistema, será necesario mejorar en el futuro. De las cuatro dimensiones, la que tiene un valor más bajo es la de Utilidad (85,14%). A priori, deducimos que esto es debido a que los sujetos de pruebas, sólo mediante el uso de la interfaz web, no tienen una visión general de las funcionalidades y la utilidad del sistema en su conjunto. El valor más alto dentro de las preguntas de esta dimensión lo tiene la pregunta “Ahorro tiempo usándolo” (93,85%), lo que significa que uno de los objetivos que se querían obtener, que era el de conseguir una rápida gestión de los recursos, ha sido logrado.



Dimensión	Pregunta	Valoración Media	Promedio por Dimensión	Porcentaje
Utilidad	Me ayuda a ser más eficaz	5,57	5,96	85,14%
	Me ayuda a ser más productivo	5,86		
	El sistema es útil	6		
	Me da más control en mis actividades cotidianas	5,71		
	Hace que las tareas que quiero realizar sean más sencillas	5,86		
	Ahorro tiempo usándolo	6,57		
	Se adapta a mis necesidades	5,71		
	Hace todo lo que se espera de él	6,43		
Facilidad de uso	Es fácil de usar	6,57	6,44	92,00%
	Es simple	6,86		
	Es amigable	6,43		
	Requiere el menor número de pasos para realizar lo que quiero	6,86		
	Es flexible	6,29		
	Usarlo no requiere esfuerzo	6,57		
	Se puede usar sin manual de instrucciones	6,14		
	No se notan inconsistencias al usarlo	6		
	Le gustaría tanto a usuarios ocasionales como habituales	6,57		
	Me puedo recuperar de errores fácil y rápidamente	6,29		
	Lo se usar con éxito siempre	6,29		
Facilidad de Aprendizaje	Lo he aprendido a usar rápidamente	6,57	6,62	94,57%
	Puedo recordar fácilmente cómo se usa	6,71		
	Me he visto hábil con él rápidamente	6,57		
Satisfacción	Estoy satisfecho con él	6,43	6,06	86,57%
	Lo recomendaría a un amigo	6,43		
	Usarlo es entretenido	5,86		
	Funciona de la manera que quiero que lo haga	6,43		
	Es estupendo	6,29		
	Siento que necesito tenerlo	5		
	Es agradable usarlo	6		

Tabla 3: Datos del cuestionario USE para la interfaz web

Por su parte, las dimensiones de Facilidad de uso y Facilidad de Aprendizaje son las que mayor valor experimentan, siendo 92% y 94,57% respectivamente, dado que la interfaz está diseñada para ser intuitiva y sencilla de cara al usuario final. Esto lo reflejan especialmente las preguntas “Es simple” y “Requiere el menor número de pasos para realizar lo que quiero”, ambas con un valor de 98%. En la Fig. 40 vemos representados los valores de las cuatro dimensiones con más claridad.

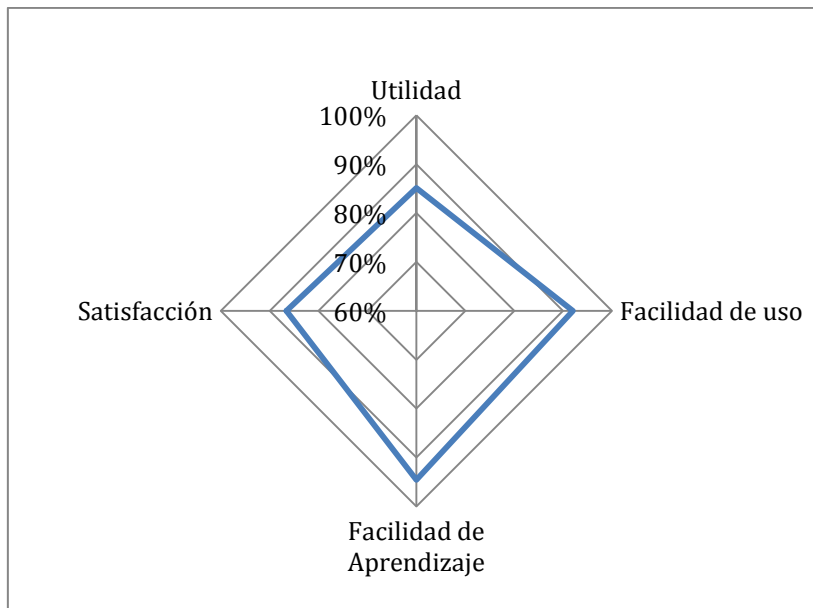


Fig. 40: Representación de los valores de usabilidad

4.3 EXPERIMENTO SOBRE LA APLICACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES

En esta sección veremos la descripción del experimento realizado sobre la aplicación para dispositivos móviles, los participantes y las tareas acometidas. Después analizaremos los resultados obtenidos.

4.2.2 PARTICIPANTES

Para el experimento de la aplicación para dispositivos móviles, el perfil de usuario a seleccionar eran estudiantes de grado o posgrado que tuvieran acceso a un iPhone. Por tanto, para realizar las pruebas, los sujetos buscados eran individuos que posean este dispositivo y tengan, a ser posible, conocimientos del funcionamiento del ámbito universitario.

Finalmente, en el experimento de la aplicación para dispositivos móviles participaron 6 individuos, 3 hombres y 3 mujeres, con edades comprendidas entre 27 y 38 años ($M=31$, $SD=4$). Para realizar el estudio, también se preguntó a cada participante por la frecuencia con que hacían uso de aplicaciones móviles en las que se requería el uso de la cámara, dando como posibles respuestas “Nunca”, “Ocasionalmente” y “Con frecuencia”. La mayoría de los participantes indicaron un uso ocasional de este tipo de aplicaciones móviles (Fig. 41).

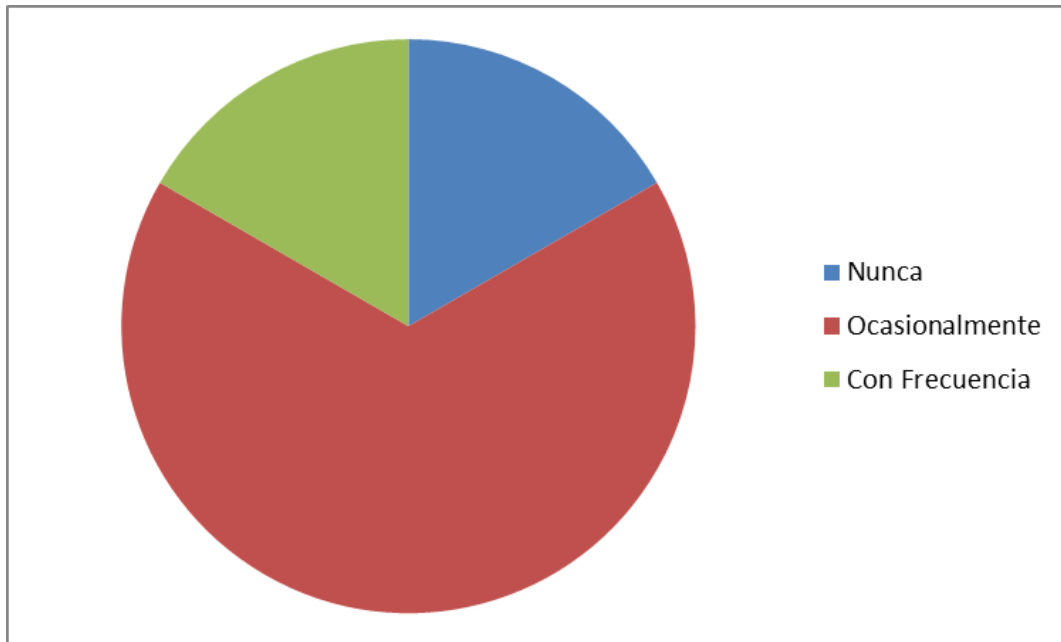


Fig. 41: Frecuencia de uso de aplicaciones que precisan la cámara del dispositivo por los participantes del experimento

4.2.3 TAREAS A REALIZAR

Para el experimento de la aplicación sobre dispositivos móviles, las tareas definidas han sido las siguientes:

- **Descarga de la aplicación (TM₁):** El usuario deberá acceder a la *App Store* del iPhone, buscar y descargar la aplicación con el nombre “QR info EPS-UAM”.
- **Configuración de las asignaturas (TM₂):** El sujeto deberá acceder a la parte de configuración de asignaturas y seleccionar 10 asignaturas de un mismo título y almacenarlas.
- **Visualización de una imagen (TM₃):** Al usuario se le proveerá con un conjunto de 50 páginas de apuntes impresos, los cuales contendrán en una de sus páginas un código QR asociado a una imagen. Se deberá usar la función de escáner de la aplicación para visualizar dicha imagen.
- **Visualización de un vídeo (TM₄):** Se colocará sobre una mesa un código QR impreso en un folio y el usuario deberá escanearlo para obtener el vídeo asociado, y visualizarlo posteriormente.
- **Recepción de información de interés (TM₅):** El usuario acudirá a un código QR impreso en un tablón de anuncios, y lo escaneará para obtener los posibles anuncios insertados en el sistema sobre las asignaturas configuradas.

Estas tareas, excepto la primera que requería la descarga de la aplicación, no era necesario realizarlas de forma secuencial, por lo que a cada sujeto se le dio la lista en un orden distinto.

4.2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Fig. 42 vemos la representación del grado de éxito de las tareas en este experimento (eficacia). El cálculo de la eficacia se ha elaborado siguiendo el mismo método que en el experimento de la interfaz web: dado que se alcanzó un 100% de completitud de tareas, se ha diferenciado entre las que requirieron algún tipo de ayuda para su realización y las que se llevaron a cabo de una manera totalmente independiente. La tarea que requirió ayuda en un mayor número de ocasiones fue la TM₅: visualización del tablón de anuncios, donde el 50% de los participantes en el experimento tuvieron alguna duda respecto a la ejecución. El resto de tareas, excepto la TM₁, también necesitaron ayuda, aunque en menor grado (33%), debido en la mayor parte de las ocasiones a dudas sobre cómo realizar el escaneo del código QR de manera correcta.

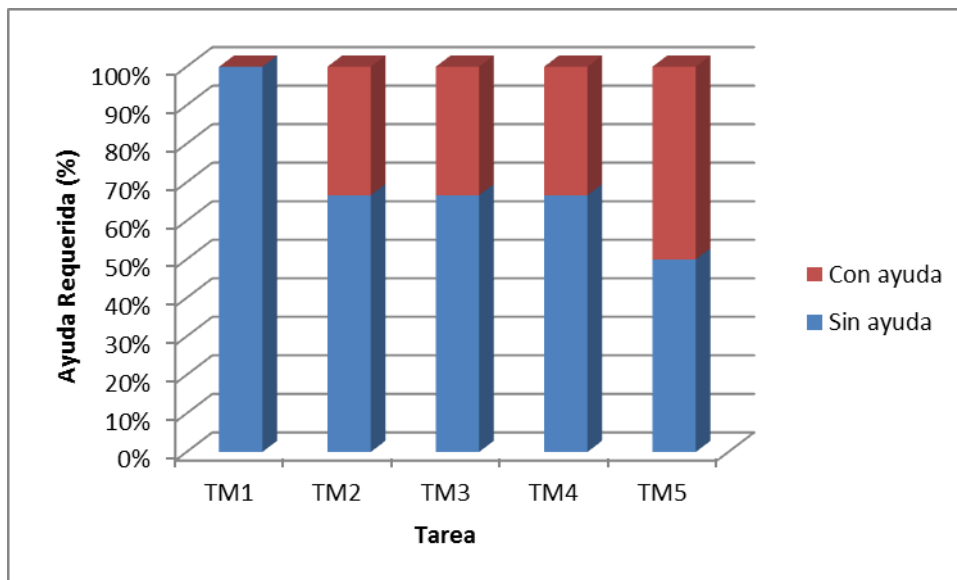


Fig. 42: Grado de éxito de las tareas en el experimento de la aplicación móvil

Los tiempos en la realización de las tareas de este experimento son sensiblemente más bajos que en el primero sobre la interfaz web, como vemos en la Tabla 4. Esto es un aspecto muy positivo, ya que las condiciones en las que usará la aplicación requiere de una mayor rapidez, bien porque se trate de una consulta rápida en el tablón de anuncios o porque se estén visualizando los apuntes, con lo cual se requiere la mínima distracción.

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5
Media	74,5	50,8	43,2	54,3	50,3
Error típico	13,1	26,9	5,9	19,7	22,9
Mediana	79,0	24,0	43,0	39,5	29,5
Desviación estándar	32,0	66,0	14,4	48,2	56,2
Varianza de la muestra	1027,1	4351,4	208,6	2321,9	3158,3
Mínimo	34,0	15,0	19,0	22,0	16,0
Máximo	124,0	184,0	60,0	150,0	163,0
Nivel de confianza(95,0%)	33,6	69,2	15,2	50,6	59,0
unidades en segundos					

Tabla 4: Tiempos empleados en el experimento de la aplicación móvil

En la Tabla 4 podemos comprobar que los valores de los intervalos de confianza son más homogéneos y bajos que los del experimento sobre la interfaz web. Las que tuvieron los intervalos más altos fueron la TM₂ (69,2 segundos) y la TM₅ (59 segundos). El intervalo más bajo lo tuvo la tarea de visualización de imágenes (TM₃), en la cual podemos estar seguros al 95% de que los usuarios no emplearán más de un minuto en realizarla.

La representación de estos datos en la Fig. 43 nos muestra que el tiempo máximo se emplea en la descarga de la aplicación (TM₁), con 74,5 segundos de media, una acción que sólo se llevará a cabo una vez. Las otras dos tareas con más carga de tiempo son la configuración de asignaturas (TM₂) y la descarga de vídeo (TM₄), con 50,8 y 54,3 segundos de media respectivamente. La configuración se realizará una vez por curso escolar, ya que las asignaturas no variarán en este tiempo. El vídeo lleva asociado el retardo por la descarga del contenido, por lo que tampoco implica un esfuerzo superior.

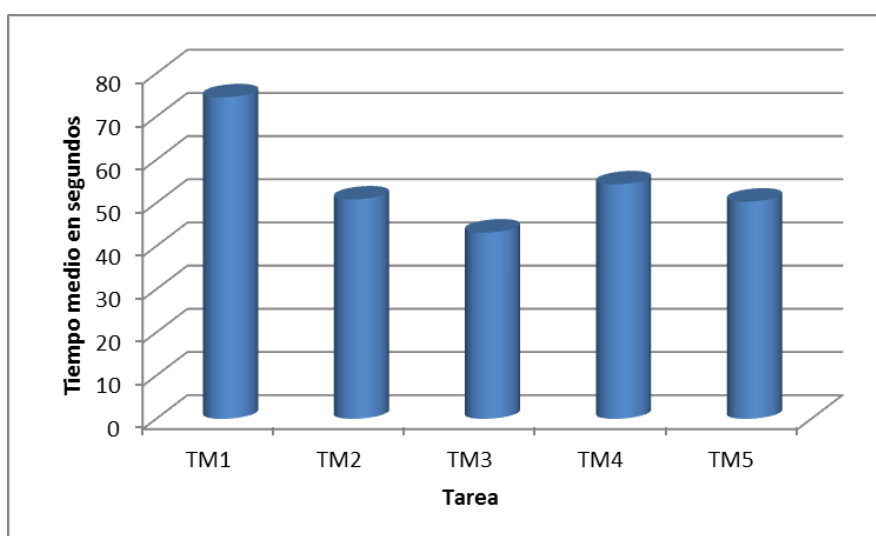


Fig. 43: Comparación tiempos aplicación móvil



En cuanto al análisis de los resultados del cuestionario USE, los resultados los podemos ver en la Tabla 5, con el mismo formato que en el experimento anterior. Los resultados son algo más elevados que en el experimento sobre la interfaz web. Esto es debido a que una aplicación móvil resulta mucho más atractiva y motivadora para el usuario y que, además, en la aplicación se puede ver directamente el resultado final, con lo que se comprueba fácilmente su utilidad.

Dimensión	Pregunta	Valoración Media	Promedio por Dimensión	Porcentaje
Utilidad	Me ayuda a ser más eficaz	5,67	6,19	88,43%
	Me ayuda a ser más productivo	5,5		
	Es útil	6,33		
	Me da más control en mis actividades cotidianas	6		
	Hace que las tareas que quiero realizar sean más sencillas	6,83		
	Ahorro tiempo usándolo	6,33		
	Se adapta a mis necesidades	6,17		
	Hace todo lo que se espera de él	6,67		
Facilidad de uso	Es fácil de usar	6,67	6,58	94,00%
	Es simple	7		
	Es amigable	6,6		
	Requiere el menor número de pasos para realizar lo que quiero	6,6		
	Es flexible	6,17		
	Usarlo no requiere esfuerzo	6,83		
	Se puede usar sin manual de instrucciones	6,83		
	No se notan inconsistencias al usarlo	6,17		
	Le gustaría tanto a usuarios ocasionales como habituales	6,67		
	Me puedo recuperar de errores fácil y rápidamente	6,33		
	Lo se usar con éxito siempre	6,5		
Facilidad de aprendizaje	Lo he aprendido a usar rápidamente	6,67	6,67	95,29%
	Puedo recordar fácilmente cómo se usa	7		
	Me he visto hábil con él rápidamente	6,33		
Satisfacción	Estoy satisfecho con él	6,83	6,56	93,71%
	Lo recomendaría a un amigo	7		
	Usarlo es entretenido	6,67		
	Funciona de la manera que quiero que lo haga	6,5		
	Es estupendo	6,6		
	Siento que necesito tenerlo	6		
	Es agradable usarlo	6,33		

Tabla 5: Resultados del test de usabilidad para la aplicación móvil

El valor (en media respecto a las cuatro dimensiones) de la usabilidad resutante en este experimento ha sido de 92,8%. Un valor relativamente alto considerando que el sistema está en su primera iteración. En este caso, la utilidad sigue siendo el valor más bajo, aunque algo más alto que en la interfaz web (88,43% frente a 85,14%). La dimensión con un valor más elevado ha sido Facilidad de Aprendizaje, con 94,57%, lo que significa que en este aspecto, los

usuarios comprendieron con facilidad el funcionamiento de la aplicación. En la Fig. 44 podemos ver la representación de estos valores, destacando sobre todo la facilidad de uso y la de aprendizaje.

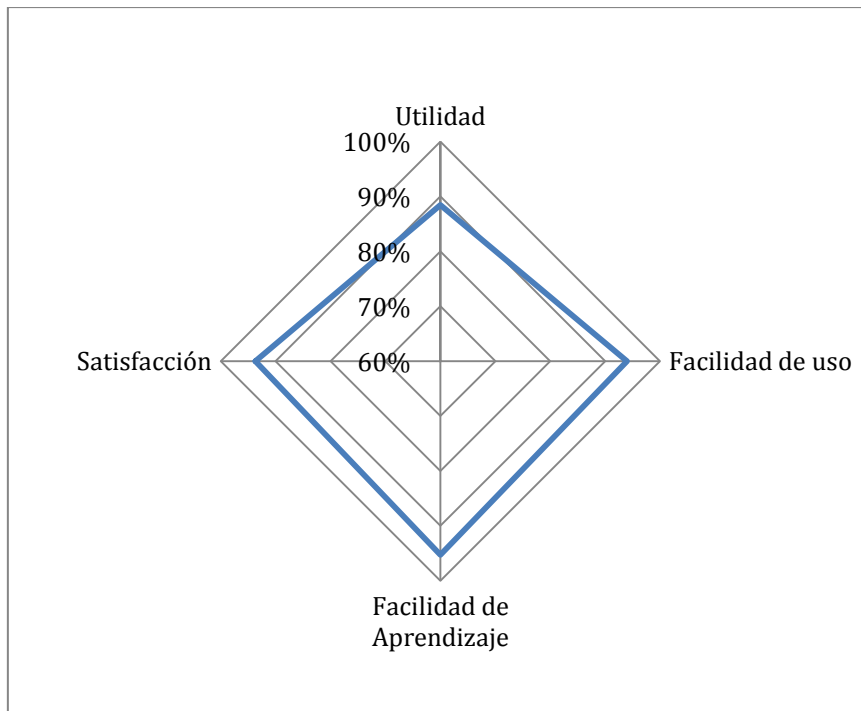


Fig. 44: Representación de los valores del formulario USE para la aplicación móvil

4.3. DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO

En este apartado se realizará la discusión sobre los resultados obtenidos para comprobar si dichos resultados satisfacen la hipótesis H_2 enunciada anteriormente. Se muestra además un análisis comparativo entre los resultados de ambos experimentos.

4.3.1. INTERFAZ WEB

En lo que respecta al análisis de la eficacia, los resultados obtenidos son bastante buenos, ya que los mayores problemas de los usuarios aparecieron en las tareas relativas con el registro de usuario y la gestión de asignaturas, dos tareas que no tendrán una realización habitual. Aún así, se estudiarán formas de solucionar estos problemas, que en su mayoría estaban relacionados con la visibilidad de enlaces para llevar a cabo las acciones pertinentes.

Por otro lado, en lo que se refiere a eficiencia, observando los tiempos medios empleados en cada tarea, podemos determinar que son razonables, ya que todos rondan los dos minutos de media, algo aceptable para las acciones requeridas, y que proporcionan una ventaja de cara sobre la distribución de estos recursos a los estudiantes.

Los resultados del cuestionario de usabilidad muestran unos valores altos en las dimensiones de Facilidad de Aprendizaje (94,5%) y Facilidad de Uso (92%), por lo que la premisa principal

que formulábamos en la hipótesis H_2 queda satisfecha. No obstante, quedaría pendiente mejorar los resultados en Utilidad (85,1%), donde se registraron valoraciones más conservadoras. Este hecho es debido probablemente a que los usuarios no vieron el funcionamiento del sistema en su conjunto y no identificaban su proyección total.

Durante las sesiones, se recogieron comentarios interesantes por parte de los participantes en el experimento. Una de las sugerencias más repetida fue la posible mejora en la navegación y búsqueda en las listas de recursos y de asignaturas. En algunos casos, los usuarios, en especial los de un nivel menor de informática, tardaban en asociar el link de la esquina superior a ir al inicio de la aplicación.

4.3.2. APLICACIÓN MÓVIL

El análisis de la eficiencia, en este experimento, arroja unos resultados peores que en el caso del experimento con la interfaz web de auditoría, ya que los usuarios necesitaron más ayuda para completar sus tareas. Esto en parte es debido a la poca formación de los usuarios del experimento en este campo que se refleja, de forma general, en la baja difusión que tienen los códigos QR en España. Razón por la cual los participantes dudaban sobre la manera adecuada de escanearlos. Esto conlleva, probablemente, a una curva de aprendizaje muy abrupta en la primera interacción, suavizándose probablemente a partir de la segunda y sucesivas. Para suavizar esta curva de aprendizaje desde el principio son necesarias mejoras en la aplicación que ayuden al usuario en la ejecución de las tareas, como indicadores, *feedback* del estado de las solicitudes al servidor y ayudas que permitan al usuario saber con seguridad si está realizando correctamente las acciones.

Los tiempos de ejecución de las tareas en la aplicación móvil son sensiblemente inferiores que en la interfaz web, y por tanto mejores. Este hecho era de esperar, además de necesario, ya que el objetivo es recuperar lo más rápido posible la información y hacer una aplicación más dinámica orientada al usuario final. La tarea que más tiempo requirió fue la TM_1 , que es la configuración de asignaturas, una tarea que no se da con frecuencia en cualquier caso. El resto de tareas reflejan tiempos de realización adecuados, limitados en su mayor parte, por el tiempo que tarda el servidor web en enviar el contenido asociado a los códigos QR.

En el análisis del cuestionario de usabilidad refleja resultados bastante elevados y equilibrados, lo que nos permite corroborar la hipótesis H_2 también desde la perspectiva de la aplicación para dispositivos móviles, ya que se requería un sistema fácil de usar y de aprender, y las dimensiones de facilidad de uso y de aprendizaje obtuvieron valores de 94% y 95,29%, respectivamente, siendo las dos más elevadas en el experimento.

De los comentarios obtenidos, por parte de los sujetos, durante las sesiones del experimento, lo más destacable fue cierta falta de *feedback* o de conocimiento del estado del sistema, ya que en ocasiones no sabían con certeza si el código QR había sido escaneado correctamente o no, al tardar unos segundos en procesarse la petición, en parte limitada por la velocidad de la red móvil. A pesar de contar con un aviso mediante vibración, se deberían estudiar otros

mecanismos de *feedback* que hagan saber a los usuarios el estado en el que se encuentran las peticiones al escanear los códigos.

4.3.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS EXPERIMENTOS DE LAS DOS APLICACIONES

Una vez recogidos los datos de ambos experimentos, los porcentajes de usabilidad han resultado en media de un 89,5% (SD=3,8) en la interfaz web y de un 92,8% (SD=2,6) en la aplicación para dispositivos móviles. Con estos datos podemos comprobar que aunque ambas aplicaciones tienen valores bastante aceptables, el valor medio reportado en el experimento con la aplicación móvil es bastante superior y cercano al máximo (100% de usabilidad percibida por los usuarios).

Con el objetivo de comprar los resultados relativos al estudio de usabilidad percibida, se ha realizado un *t-test* despareado para comparar las muestras independientes resultantes de las respectivas dimensiones de usabilidad obtenidas en ambos experimentos. En concreto, se ha realizado un *t-test* para cada dimensión de los cuestionarios USE, obteniendo para ello el valor promedio de las preguntas para cada una de las dimensiones. De este modo, y asumiendo que las varianzas obtenidas en cada dimensión para los dos experimentos son aproximadamente iguales, la hipótesis a probar será la *hipótesis nula*, es decir, que no existe diferencia significativa entre las medias de las dimensiones. De esta forma, podremos conocer aquellos valores que difieren en cada uno de los experimentos y tener una percepción de la usabilidad global del sistema en sus dos partes.

Tras realizar las correspondientes pruebas *t* con un nivel de confianza del 91% para cada dimensión del cuestionario USE, los valores *P* para cada una han resultado 0.17 para Utilidad, 0.09 para Facilidad de Uso, 0.78 para Facilidad de Aprendizaje y 0.01 para Satisfacción, como se aprecia en la Tabla 6. Por lo tanto, podemos decir que existe una diferencia estadística significativa entre las dimensiones de Facilidad de Uso y Satisfacción en ambas aplicaciones, con una probabilidad del 91%, mientras que para la Utilidad y la Facilidad de Aprendizaje, no se aprecian diferencias estadísticas significativas, también con la misma probabilidad.

	Utilidad	Facilidad de uso	Facilidad de aprendizaje	Satisfacción
Valor Interfaz Web (%)	85,20	92,04	94,52	86,61
Valor Aplicación móvil (%)	88,39	93,99	95,24	93,73
Varianza Interfaz web	0,13	0,08	0,01	0,27
Varianza aplicación móvil	0,21	0,07	0,11	0,11
Valor P	0,17	0,09	0,78	0,01

Tabla 6: *t-test* de los valores de los cuestionarios USE

Por otro lado, y como se muestra también en la Tabla 6, en todas las dimensiones los valores de la aplicación móvil son superiores a los de la interfaz web, por lo que en un futuro habrá que trabajar más con esta última para su mejora.

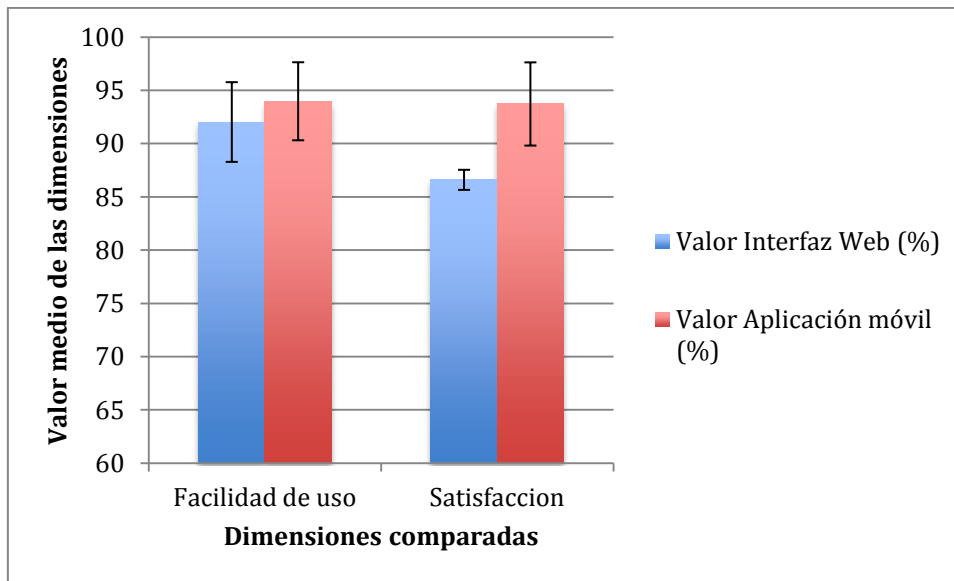


Fig. 45: Porcentajes de las dimensiones Facilidad de Uso y la Satisfacción en las dos aplicaciones, junto con las barras de error $\pm \sigma$ correspondientes

En consecuencia con el *t-test* realizado, y con el objetivo de analizar las diferencias entre las dimensiones Facilidad de Uso y Satisfacción de las dos aplicaciones, en la Fig. 45 vemos la representación de estas dos dimensiones, obtenidas a partir de ambos experimentos, mostrando los valores del porcentaje en cada dimensión junto con la correspondiente barra de error simbolizando la desviación típica. En dicha gráfica podemos comprobar visualmente que la aplicación móvil resulta tener más facilidad de uso percibida y genera una mayor satisfacción en las pruebas. Esto es debido probablemente, en la dimensión de facilidad de uso, a que la aplicación para dispositivos móviles requiere menos acciones por parte del usuario para llevar a cabo las tareas. En la mayoría de ellas, basta con enfocar el código para disponer del recurso, mientras que la interfaz web requiere más interacción por parte del usuario. En la satisfacción, la diferencia aumenta debido a que la interacción con el sistema por medio de una aplicación móvil supone un aumento en motivación, como se comentó anteriormente.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En esta sección se muestran las conclusiones sobre el trabajo realizado, donde se corroboran las hipótesis enunciadas en la introducción. Posteriormente se enunciarán las líneas de trabajo a seguir.

5.1. CONCLUSIONES

Durante el proyecto se ha propuesto un sistema para la mejora, acceso y disponibilidad de recursos educativos on-line. Para ello, se utiliza la combinación de códigos QR y Realidad Aumentada como mecanismos de procesamiento y visualización de recursos educativos específicos en distintos contextos de uso.

De esta forma, los profesores podrán subir recursos e información de interés sin necesitar conocimientos específicos ni una herramienta compleja. Estos recursos podrán ser actualizados además de modo transparente para los estudiantes, sin que esto implique cambios en los códigos QR que se generaron y distribuyeron con anterioridad. Los estudiantes, por su parte, estarán informados de eventos de interés, y mejorarán la calidad de su material docente con la base tecnológica de la que disponen en sus *smartphones* hoy en día.

Mediante esta implementación del sistema y su funcionamiento, descrito en la sección 3.3 - Descripción del sistema final implementado, corroboramos la hipótesis H_1 enunciada en la introducción, es decir, que es posible crear un sistema para la gestión de recursos en el ámbito académico, usando las tecnologías de códigos QR y Realidad Aumentada, que proporcione una comunicación ágil y rápida entre profesores y estudiantes.

En vista de los resultados obtenidos tras los experimentos, podemos concluir que los tres objetivos no funcionales propuestos en el análisis de la aplicación, que eran la sencillez, la facilidad de uso y la facilidad de aprendizaje, han alcanzado unos valores aceptables (89,5% en la aplicación web y 92,8% en la aplicación móvil). Con estos datos, sumados a los elementos añadidos al sistema para mejorar su accesibilidad, como el uso de *responsive design* en la interfaz web y el visionado en modo pantalla completa para vídeos, mejorando así la facilidad de visualización, podemos decir que la hipótesis H_2 enunciada anteriormente queda también satisfecha; es decir, que es posible el desarrollo del sistema propuesto asegurando la usabilidad, y haciéndolo fácil de usar y de aprender. Además, a partir de estos valores se podrán marcar unos objetivos de usabilidad concretos de cara a la próxima iteración, mejorando el sistema a partir de los resultados e información obtenidos de los experimentos. Teniendo en cuenta los actuales porcentajes de usabilidad obtenidos en los experimentos un objetivo de usabilidad razonable sería llegar al 95% en ambas aplicaciones.

Por otro lado, y dada la sencillez general del sistema, es de esperar una curva de aprendizaje poco abrupta, debido a la simplicidad de ambas herramientas. En general, ambas interfaces ofrecen facilidad de uso y poca expresividad para el usuario, el creador y el consumidor de contenido. En concreto, esta investigación está basada en el paradigma del Desarrollo por el

Usuario Final (en inglés EUD –End-User Development) [49] cuyo objetivo es proporcionar a usuarios finales, no expertos en informática pero sí en su dominio de aplicación, herramientas y sistemas específicos para crear y gestionar artefactos software como, en este caso, recursos educativos on-line.

5.2. TRABAJO FUTURO

En este apartado se enumeran las líneas de trabajo a seguir para mejorar el sistema y corregir los errores detectados en la fase de experimentación.

MEJORA DE LA EFICACIA

Tras finalizar la implementación del sistema y la realización del experimento, y basándonos en el análisis de los resultados de este, hay aspectos que deberían mejorar de cara a la futura implantación del sistema. Entre estos aspectos impera la mejora de los valores de la eficacia, en especial en el dispositivo móvil, que, si bien los valores de usabilidad son altos, tiene partes durante la ejecución de las tareas que generan dudas al usuario, provocando un descenso en estos valores de eficacia relativo al aumento de la ayuda prestada. Debido a esto, habría que dotar al sistema en su conjunto de mayor cantidad de elementos que mejoren la usabilidad, como sistemas de ayuda, notificaciones y alertas sobre el estado del sistema.

AUMENTO DE USABILIDAD Y ACCESIBILIDAD

Hay una serie de mejoras que se podrían implementar para permitir mayor accesibilidad tanto al estudiante como al profesor. Se tendrán también en cuenta los comentarios hechos por los usuarios durante las sesiones experimentales para mejorar la usabilidad. Entre las sugerencias y comentarios realizados sobre la interfaz web, destaca la implementación de filtros de búsqueda sobre las asignaturas y recursos, así como un sistema de paginación para ganar en comodidad en la búsqueda y navegación de estas páginas. Además, durante los experimentos se detectó algún error no funcional, como traducciones en algunos de los mensajes automáticos de error que genera el sistema que serán corregidos.

ENLACE CON PLATAFORMA DE GESTIÓN EDUCATIVA

Una mejora funcional destacada sobre la interfaz web sería enlazar nuestro servidor con la plataforma educativa que use el centro, como Moodle. De esta forma, los profesores tendrían la facilidad de gestionar los recursos sin tener que usar una interfaz distinta, ya que se integrarían los usuarios de los dos sistemas, incluyendo asignaturas, apuntes y demás recursos.

APLICACIÓN MÓVIL MULTIPLATAFORMA

De cara a la aplicación para móviles, un trabajo necesario sería llevar la implementación a la plataforma Android, para poder llegar así a prácticamente la totalidad de los estudiantes, ya que como vemos en la Fig. 46, son los dos sistemas operativos móviles que copan más del 90% del mercado. Dado que el sistema está diseñado en capas y que los framework usados son de código abierto y multiplataforma, esta tarea no requeriría un gran esfuerzo.

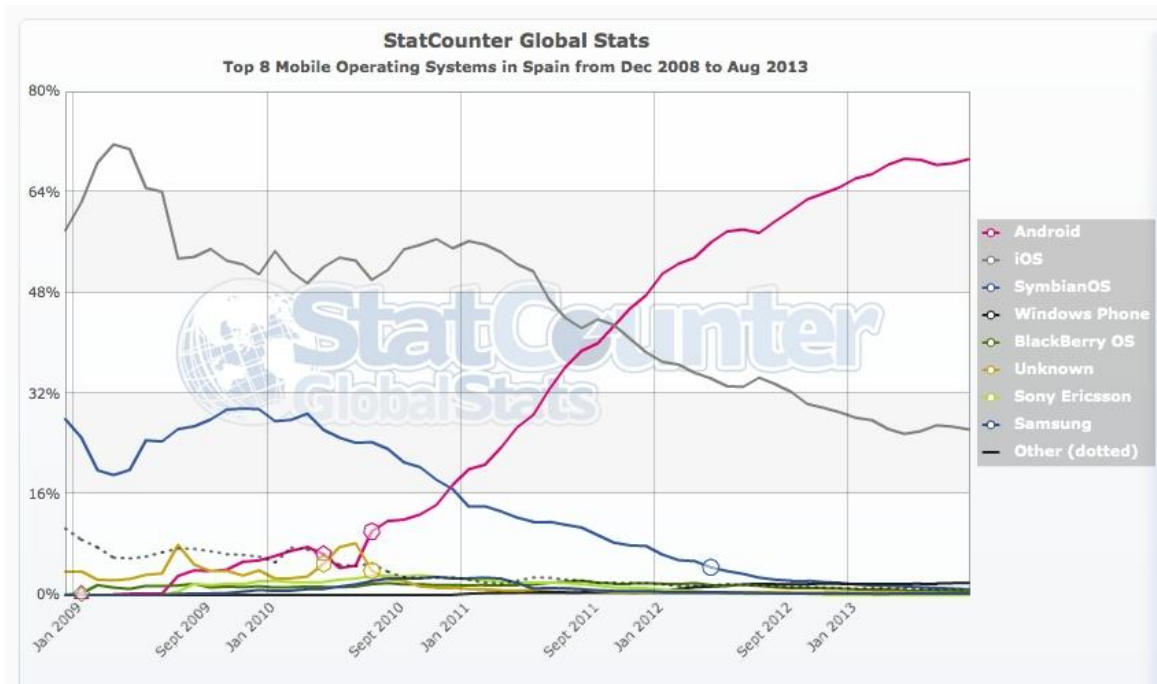


Fig. 46: Uso de sistemas operativos móviles en España [50]

AUMENTO DEL TIPO DE RECURSOS SOPORTADOS

También sería conveniente adaptar el sistema para incluir más formatos, como PDF, para que así los profesores tuvieran la posibilidad de distribuir directamente sus apuntes o recursos bibliográficos.

REFERENCIAS

- [1] M. Brownlow, "Smartphone statistics and market share," 2012. [Online]. Available: <http://www.email-marketing-reports.com/wireless-mobile/smartphone-statistics.htm>.
- [2] D. Johnson, "62% of 25-34 Year Olds Own Smartphones," *Tatango*, 2012. [Online]. Available: <http://www.tatango.com/blog/smartphone-ownership-statistics/>.
- [3] AppBrain, "Number of available Android applications," 2013. [Online]. Available: <http://www.appbrain.com/stats/number-of-android-apps>.
- [4] Wikipedia Contributors, "QR code," 2013. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code.
- [5] Wikipedia Contributors, "Augmented reality." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality. [Accessed: 01-Dec-2012].
- [6] Nielsen, "THE MOBILE CONSUMER," 2013.
- [7] onvert, "onvert." [Online]. Available: <http://onvert.com>.
- [8] P.-L. P. Rau, G. Qin, and L.-M. Wu, "Using mobile communication technology in high school education: Motivation, pressure, and learning performance," *Computers & Education*, vol. 50, pp. 1–22, 2008.
- [9] R. Hernando and J. A. Macías, "Uso de Realidad Aumentada Mediante Códigos QR para la Mejora en el Acceso y Disponibilidad de Recursos Educativos," in *Actas del XV Simposio Internacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación (SINTICE 2013)*, 2013, pp. 43–50.
- [10] comScore, "QR Code Usage Among European Smartphone Owners Doubles Over Past Year," 2012. [Online]. Available: http://www.comscore.com/Insights/Press_Releases/2012/9/QR_Code_Usage_Among_European_Smartphone_Owners_Doubles_Over_Past_Year.
- [11] INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 18004:2006, "Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR Code 2005 bar code symbology specification," 2009.
- [12] Wikipedia Contributors, "Reed–Solomon error correction," 2013. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Reed–Solomon_error_correction. [Accessed: 10-Apr-2013].
- [13] I. Poupyrev, D. Tan, and M. Billinghurst, "Developing a generic augmented-reality interface," *Computer*, pp. 2–8, 2002.

- [14] M. Gervautz and D. Schmalstieg, "Anywhere interfaces using handheld augmented reality," *Computer*, pp. 26–31, 2012.
- [15] S. Cawood and M. Fiala, *Augmented reality: a practical guide*. Pragmatic Programmers, LLC, 2007, p. 311.
- [16] DroidLa Limited, "QR Droid Zapper." [Online]. Available: <http://qrdroid.com/default.php>.
- [17] Kerem Erkam, "QR Code and 2D Code Generator," 2010. [Online]. Available: <http://keremerkam.net/qr-code-and-2d-code-generator/>.
- [18] Wikipedia Contributors, "VCard," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 2013. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=VCard&oldid=566544425>. [Accessed: 18-Jul-2013].
- [19] Wikipedia Contributors, "iCalendar," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, 2013. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=iCalendar&oldid=566392013>. [Accessed: 18-Jul-2013].
- [20] QRStuff, "QRStuff," 2013. [Online]. Available: <http://www.qrstuff.com/>.
- [21] Europa Press, "Turismo de Segovia implanta códigos QR junto a diez monumentos y en 80.000 servilletas de restaurantes," 05-Jul-2012.
- [22] H. S. Al-khalifa, "Utilizing QR Code and Mobile Phones for Blinds and," in *Computers Helping People with Special Needs*, 2008, pp. 1065–1069.
- [23] Hunter Research and Technology LLC, "Theodolite iPhone App," 2012. [Online]. Available: <http://hrtapps.com/theodolite>.
- [24] D. Wagner, G. Reitmayr, A. Mulloni, T. Drummond, and D. Schmalstieg, "Real-time detection and tracking for augmented reality on mobile phones," *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 16, no. 3, pp. 355–68, 2010.
- [25] H.-K. Wu, S. W.-Y. Lee, H.-Y. Chang, and J.-C. Liang, "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education," *Computers & Education*, vol. 62, pp. 41–49, Mar. 2013.
- [26] E. Klopfer, *Augmented learning: research and design of mobile educational games*. MIT Press, 2008, p. 251.
- [27] "LearnAR." [Online]. Available: <http://www.learnar.org>.
- [28] T.-Y. Liu, T.-H. Tan, and Y.-L. Chu, "2D Barcode and Augmented Reality Supported English Learning System," *6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007)*, no. Icis, pp. 5–10, 2007.

- [29] H.-C. Lai, C.-Y. Chang, L. Wen-Shiane, Y.-L. Fan, and Y.-T. Wu, "The implementation of mobile learning in outdoor education: Application of QR codes," *British Journal of Educational Technology*, vol. 44, no. 2, pp. E57–E62, Mar. 2013.
- [30] R. Conejo, J. L. Perez-de-la-cruz, B. Barros, J. Galvez, and J. Ignacio, "Context-aware Assessment Using QR-codes The system Siette," *Proceedings of the Research in Engineering Education Symposium 2013*, pp. 1–8, 2013.
- [31] Layar, "Layar," 2012. .
- [32] ISO/IEC, "9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 11 Guidance on usability," 1998.
- [33] J. Deacon, "Model-view-controller (mvc) architecture," 2009. [Online]. Available: <https://techsimplified2.com/Uploads/Agendas/October28,2011.pdf>. [Accessed: 25-Jul-2013].
- [34] Twitter, "Twitter Bottstrap." [Online]. Available: <http://twitter.github.io/bootstrap/>.
- [35] E. Marcotte, "Responsive web design," *A list apart*, no. 306, pp. 1–22, 2010.
- [36] zxing, "ZXing ('Zebra Crossing')," *Apache License 2.0*, 2012. [Online]. Available: <https://code.google.com/p/zxing>.
- [37] RichardsonLeonard and S. Ruby, *RESTful Web Services*. O'Reilly Media, 2007, p. 454.
- [38] D. Robertson, "rQRCode." [Online]. Available: <https://github.com/whomwah/rqrcode>.
- [39] M. N. dos Santos, "GridFS: Targeting Data Sharing in Grid Environments," in *Sixth IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid Workshops*, 2006, p. 17.
- [40] ISO/IEC, "9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDT)s - Part 11 Guidance on usability," 1998.
- [41] T. Boren, Microsoft Corp., and J. Ramey, "Thinking aloud: reconciling theory and practice," *IEEE Transactions on Professional Communication*, vol. 43, no. 3, pp. 261–278, 2000.
- [42] E. Olmsted-Hawala and E. Murphy, "Think-aloud protocols: a comparison of three think-aloud protocols for use in testing data-dissemination web sites for usability," *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2381–2390, 2010.
- [43] D. Susan and D. Siegel, "Remote possibilities?: international usability testing at a distance," *Magazine interactions*, New York, pp. 10–17, 2012.
- [44] Google, "Hangouts." 2012.

- [45] T. Tullis and S. Fleischman, “An empirical comparison of lab and remote usability testing of web sites,” *Usability Professionals Association Conference*, 2002.
- [46] A. Lund, “Measuring usability with the USE questionnaire,” *Usability interface*, pp. 3–6, 2001.
- [47] Wikipedia Contributors, “Likert scale,” *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. .
- [48] T. Tullis and B. Albert, *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*. Elsevier: Morgan Kaufmann, 2008, p. 336.
- [49] J. A. Macías, “Aspectos pragmáticos en el Desarrollo por el Usuario Final,” *Novática*, pp. 45–47, 2005.
- [50] StatCounter, “Top 8 mobile operating systems in Spain.”



ANEXOS

A continuación se adjuntan los documentos de apoyo para la realización del proyecto

CUESTIONARIOS DE USABILIDAD PARA LAS SESIONES DE PRUEBAS

Ambos cuestionarios están accesibles vía web en las direcciones:

- Cuestionario a rellenar tras las sesiones de prueba de la Interfaz web:
<https://docs.google.com/forms/d/1oCLz9VJ8fTxAmXrN7MzPNSk3PGJWtq6pd9htqZq5tfw/viewform>
- Cuestionario a rellenar tras las sesiones de prueba de la aplicación para dispositivos móviles:
<https://docs.google.com/forms/d/1tL-RkSrW1RZXlnQ6wox1YCba2RU5WB9Oomdm-BkbpN8/viewform>

A continuación se adjuntan los cuestionarios íntegros.

FORMULARIO PARA LA INTERFAZ WEB

Test sobre el uso de la interfaz web, desde el punto de vista del usuario (profesor del centro)

Edad

Navegador usado

- ☐ Internet Explorer
- ☐ Firefox
- ☐ Chrome
- ☐ Opera
- ☐ Other:

Nivel de informática

1 2 3 4 5

Nulo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Experto

UTILIDAD

Conteste a las siguiente preguntas sobre la utilidad en su trabajo del sistema web probado

Me ayuda a ser más eficaz

1 2 3 4 5 6 7



Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Me ayuda a ser más productivo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

El sistema es útil

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Me da más control en mis actividades cotidianas

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Hace que las tareas que quiero realizar sean más sencillas

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Ahorro tiempo usándolo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Se adapta a mis necesidades

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Hace todo lo que se espera de él



1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

FACILIDAD DE USO

Preguntas sobre la interfaz web

Es fácil de usar

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es simple

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es amigable

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Requiere el menor número de pasos para realizar lo que quiero

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es flexible

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Usarlo no requiere esfuerzo



1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Se puede usar sin manual de instrucciones

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

No se notan inconsistencias al usarlo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Le gustaría tanto a usuarios ocasionales como habituales

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Me puedo recuperar de errores fácil y rápidamente

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Lo se usar con éxito siempre

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

FACILIDAD DE APRENDIZAJE

Lo he aprendido a usar rápidamente

1 2 3 4 5 6 7



Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Puedo recordar fácilmente cómo se usa

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Me he visto hábil con él rápidamente

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

SATISFACCIÓN

Estoy satisfecho con él

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Lo recomendaría a un amigo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Usarlo es entretenido

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Funciona de la manera que quiero que lo haga

1 2 3 4 5 6 7



Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Es estupendo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Siento que necesito tenerlo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Es agradable usarlo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

FORMULARIO PARA LA APLICACIÓN MÓVIL

Test sobre el uso de la aplicación de iPhone

Edad

Nivel de uso de aplicaciones móviles

1 2 3 4 5

Nulo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Experto

Frecuencia de uso de aplicaciones que precisan la cámara del dispositivo

UTILIDAD

Me ayuda a ser más eficaz



1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Me ayuda a ser más productivo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es útil

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Me da más control en mis actividades cotidianas

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Hace que las tareas que quiero realizar sean más sencillas

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Ahorro tiempo usándolo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Se adapta a mis necesidades

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo



Hace todo lo que se espera de él

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

FACILIDAD DE USO

Es fácil de usar

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es simple

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es amigable

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Requiere el menor número de pasos para realizar lo que quiero

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Es flexible

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Usarlo no requiere esfuerzo



1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Se puede usar sin manual de instrucciones

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

No se notan inconsistencias al usarlo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Le gustaría tanto a usuarios ocasionales como habituales

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Me puedo recuperar de errores fácil y rápidamente

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

Lo se usar con éxito siempre

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Muy de acuerdo

FACILIDAD DE APRENDIZAJE

Lo he aprendido a usar rápidamente

1 2 3 4 5 6 7



Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Puedo recordar fácilmente cómo se usa

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Me he visto hábil con él rápidamente

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

SATISFACCIÓN

Estoy satisfecho con él

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Lo recomendaría a un amigo

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Usarlo es entretenido

1 2 3 4 5 6 7

Muy en desacuerdo ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Muy de acuerdo

Funciona de la manera que quiero que lo haga

1 2 3 4 5 6 7



Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo
<hr/>								
Es estupendo								
1 2 3 4 5 6 7								
Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo
<hr/>								
Siento que necesito tenerlo								
1 2 3 4 5 6 7								
Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo
<hr/>								
Es agradable usarlo								
1 2 3 4 5 6 7								
Muy en desacuerdo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Muy de acuerdo
<hr/>								

INSTRUCCIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

A continuación se muestran los documentos dados a los sujetos de pruebas. El documento se enviaba por correo al usuario, estando disponible online en la dirección https://docs.google.com/document/d/1ab1ElqBy7OWqfxdACnS96GcUINi1yzplbE7rJ_BoDY/pub para los usuarios de la interfaz web y en

INTERFAZ WEB

Escenario

Usted forma parte del personal docente de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de la UAM. Este sistema está diseñado para la gestión de imágenes, vídeos y mensajes asociados a las asignaturas impartidas en la escuela, de modo que permite la inserción de estos recursos, obteniendo a cambio un código QR que contendrá la información necesaria para recuperar este recurso.

Debe realizar las siguientes tareas, alcanzando los objetivos indicados.

URL:



<http://150.244.58.243:3000>

Tarea 1

Objetivo:

Crear un usuario en la aplicación web.

Descripción

El usuario deberá registrar un usuario nuevo en la web mediante su correo y una contraseña. En caso de que ya tuviera su dirección de correo registrada, deberá identificarse en el sistema introduciendo la contraseña. Si hubiera olvidado la contraseña, deberá solicitar al sistema la recuperación de la misma.

Tarea 2

Objetivo:

Dar de alta una asignatura en el sistema.

Descripción

Se deberá acceder a la pantalla de gestión de asignaturas, y una vez dentro, se introducirá la asignatura propia del usuario, asignándosela al título académico correspondiente.

Tarea 3

Objetivo:

Introducir una imagen e introducir su código en una presentación de PowerPoint

Descripción

El usuario accederá a la pantalla de gestión de códigos y creará un nuevo recurso mediante el formulario. Deberá subir una imagen y asignar dicho recurso a la asignatura que imparte. Una vez creado el recurso, deberá recuperar la imagen con el código QR asociado e insertarla en una presentación de PowerPoint.

Tarea 4

Objetivo:

Introducir un vídeo y guardar el código en los documentos del usuario

Descripción:

Se seleccionará un fichero de vídeo del ordenador del usuario para subirlo al servidor. El código QR resultante deberá guardarse como imagen con los documentos del usuario.

Tarea 5

Objetivo:

Modificar una imagen subida previamente

Descripción:



Accediendo a la pantalla de gestión de recursos, deberá seleccionarse para edición el recurso de tipo imagen creado previamente por el usuario. Una vez en el formulario de edición, deberá seleccionarse otra imagen y guardar el recurso.

Tarea 6

Objetivo

Realizar un anuncio a los estudiantes de una asignatura

Descripción

Desde la gestión de recursos, se deberá crear uno nuevo. Esta vez, en el formulario se seleccionará el tipo *información* y se insertará el texto de una notificación para los estudiantes de una asignatura concreta. En este caso, no será necesario recuperar la imagen con el código QR ya que se presupone que estará ubicado en el tablón de anuncios de la escuela.

APLICACIÓN MÓVIL

Escenario

Usted es un estudiante en la Escuela Politécnica Superior (EPS) de la UAM. Esta aplicación está diseñada para la gestión de imágenes, vídeos y mensajes asociados a las asignaturas impartidas en la escuela, de modo que permite la recuperación de estos recursos a partir de un código QR que contendrá la información necesaria para recuperar este recurso.

Debe realizar las siguientes tareas, alcanzando los objetivos indicados.

Tarea 1

Objetivo:

Descargar la aplicación.

Descripción

El usuario deberá acceder a la *App Store* del iPhone, buscar y descargar la aplicación con el nombre “QR info EPS-UAM”.

Tarea 2

Objetivo:

Visualizar una imagen

Descripción

Dentro de los apuntes impresos hay un código QR correspondiente a una imagen. Se deberá usar la función de escáner de la aplicación para visualizar dicha imagen.

Tarea 3



Objetivo:

configuración de las asignaturas

Descripción

Deberá acceder a la parte de “configuración de asignaturas” y seleccionar 10 asignaturas de un mismo título. Una vez hecho esto, se tocará el botón de guardar.

Tarea 4

Objetivo:

Visualizar un vídeo

Descripción:

Deberá escanear el código QR y visualizar el vídeo

Tarea 5

Objetivo:

Consulta del tablón de anuncios

Descripción:

Acudirá a un código QR impreso en el tablón de anuncios, y lo escaneará para obtener los posibles anuncios insertados en el sistema sobre las asignaturas configuradas.

CÓDIGO FUENTE DEL SISTEMA

El código fuente está accesible en repositorios de código abierto alojados en Github.com

- El código de la aplicación móvil: <https://github.com/rhernando/QRAR-ios>
- el código del servidor web y la interfaz: <https://github.com/rhernando/qrgenerator>

CONTRIBUCIONES EXCEPCIONALES

Durante la realización de este Trabajo de Fin de Máster, se han realizado las siguientes contribuciones excepcionales:

PUBLICACIÓN EN EL CONGRESO SINTICE 2013

Se ha realizado una publicación en formato de artículo largo, aceptada tras un proceso de evaluación por pares en el congreso internacional SINTICE 2013 (XV Simposio Internacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación), referenciado durante este trabajo en [9].

Hernando, R., Macías, J.A. *Uso de Realidad Aumentada Mediante Códigos QR para la Mejora en el Acceso y Disponibilidad de Recursos Educativos.*

Actas del XV Simposio Internacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación (SINTICE 2013). Baltasar Fernández Manjón (editor). Madrid, del 18 al 20 de septiembre de 2013, pp. 43-50. ISBN: 978-84-695-8362-3.

A continuación se anexa el artículo presentado:

The authors are with the Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid 28049, Spain (e-mail: j.macias@uam.es).

DOI (Digital Object Identifier) Pendiente

Uso de Realidad Aumentada Mediante Códigos QR para la Mejora en el Acceso y Disponibilidad de Recursos Educativos

Rubén Hernando Martín y José Antonio Macías Iglesias

Title— Using Augmented Reality through QR Codes to Enhance On-line Educational-Resource Access and Availability.

Abstract— In this paper, we present an application that enhances accessing and sharing of academic resources among educators and students. The application leverages two technologies, namely QR codes and Augmented Reality, providing both a mobile and a web application that allow students to obtain educational resources created by educators just using QR codes captured with her/his smartphone, providing students with updated resources anytime and anywhere.

Index Terms— Educational technology, Human computer interaction, Web services.

INTRODUCCIÓN

EN los últimos años, el aumento en la cantidad de usuarios de *smartphones* y *tablets*[1], junto con su facilidad de uso inherente, han provocado el surgimiento y aprovechamiento de numerosas aplicaciones en los entornos de la Realidad Aumentada (AR) y los códigos QR (*Quick Response Codes*).

La Realidad Aumentada permite aumentar la realidad que se ve a través de la pantalla del dispositivo mediante información adicional. Esta información puede ser representada mediante imágenes, marcadores de lugar o animaciones.

Por otro lado, los códigos QR son códigos bidimensionales que permiten incluir información de distinto tipo y garantizar la corrección de errores. Mediante un escáner, que puede ser la cámara de un dispositivo móvil con una aplicación específica, se puede leer rápidamente el contenido de estos códigos.

No obstante, y aunque el uso de estas dos tecnologías está bastante extendido, analizando varias de las aplicaciones existentes, que usan tanto una como otra tecnología, de forma individual o combinando ambas, se ha comprobado que tienen ciertas carencias. En primer lugar, la generación de contenido aumentado para las interfaces suele ser difícil de gestionar para usuarios con un perfil tecnológico bajo, ya que en los casos en los que se permite, los formatos de esta información son muy poco flexibles. Un ejemplo es la aplicación Onvert [2], la cual precisa de conocimientos en diseño gráfico y herramientas de diseño avanzadas para poder

añadir contenido aumentado, lo cual excluye de la gestión de contenidos a usuarios no expertos en este dominio. Además, se ha observado que este tipo de aplicaciones no contemplan suficientemente el ámbito relacionado con la enseñanza y el aprendizaje, lo que podría suponer una aportación interesante en ámbitos académicos, tanto para profesores como para estudiantes.

Desde el punto de vista del estudiante, obtener la información por medio de una aplicación, resultado del desarrollo de estas tecnologías, aportaría un mayor atractivo y mejoraría su motivación [3], lo que sería beneficioso para el desarrollo del curso. El profesor, por otro lado, podría organizar y distribuir con más facilidad los recursos entre sus estudiantes, siempre que la aplicación fuera sencilla y no precisara de un periodo excesivo de aprendizaje.

Bajo estas premisas, se pretende aportar una mejora en el campo, y para ello se ha diseñado e implementado un sistema que permite agilizar el flujo de información entre el personal docente y los estudiantes. En general, la hipótesis de partida de este trabajo es que es necesaria una gestión de contenidos que no entorpezca la labor docente y se pueda desarrollar con agilidad y sin necesidad de tener conocimientos técnicos específicos. De este modo, el profesor será capaz de gestionar los recursos que desee llegando a más estudiantes de una sola vez por medio de códigos QR. A su vez, el enfoque se ha centrado en que el uso de la aplicación de cara a los estudiantes también sea sencillo e intuitivo, y mejore la disposición, recepción y calidad de los contenidos que necesita para el estudio de las asignaturas. El estudiante sólo necesita su *smartphone* para poder acceder a los recursos y contenidos que procuren los profesores, de una manera fácil y transparente. Estos contenidos se mostrarán sobre la pantalla de su dispositivo, sustituyendo a la visualización del código QR original del mundo real, lo que supone una aplicación de la Realidad Aumentada en este ámbito tal y como hacen algunas aplicaciones de este tipo para dispositivos móviles[2], donde se muestra el contenido multimedia sobre el marcador al que enfoca la cámara del dispositivo.

El presente artículo se estructura de la siguiente forma. En la Sección II se abordará el trabajo relacionado. En la Sección III se entrará de lleno en la propuesta presentada, describiendo en detalle su arquitectura y casos de uso, así como unas capturas que muestran su funcionamiento y aplicación. Finalmente, en la Sección IV se presentan las

conclusiones y el trabajo futuro.

TRABAJO RELACIONADO

Tecnologías

Desde 1965, fecha en la que Ivan Sutherland diseñó la primera aplicación de Realidad Aumentada [4], la tecnología relacionada con este ámbito se ha venido desarrollando considerablemente hasta la fecha. Esta primera aplicación consistía simplemente en un *display* montado en un casco, con el que se podía ver un cubo flotando sobre el mundo real.

Actualmente, la forma más extendida de implementar estas aplicaciones es a través de dispositivos móviles con cámara integrada. Estos dispositivos actualmente contienen todo el hardware necesario para la ejecución de este tipo de aplicaciones, siendo el único problema o limitación el relacionado con la eficiencia de los terminales, ya que en su diseño prima el ahorro de batería frente al aprovechamiento de prestaciones de las que están dotados a nivel interno [5].

También, gracias al auge en el uso de los dispositivos móviles, la tecnología de códigos QR ha venido creciendo exponencialmente en los últimos años. Los códigos QR fueron inventados en 1994 por la compañía DENSO Wave, usándose inicialmente para el escaneo rápido de piezas de repuestos[6]. Desde entonces, el uso de estos códigos ha aumentado considerablemente [7], pasándose de un uso meramente industrial a un uso en diferentes aplicaciones del mundo cotidiano, siendo hoy en día muy usados en el marketing.

El último estándar que rige la codificación de los códigos QR es el ISO/IEC 18004:2006 [8]. Mediante este sistema de codificación, se permite la corrección de errores gracias al algoritmo Reed-Solomon [9], que puede llegar hasta un nivel de corrección del 30%. Este algoritmo divide la información en grupos de bits, llamados símbolos, y realiza la detección mediante polinomios. Se puede detectar una cantidad de errores igual a la de símbolos de control introducidos, y realizar la corrección de la mitad de estos símbolos de control.

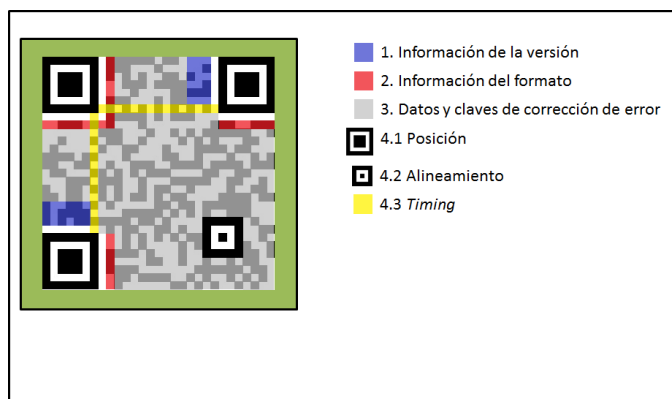


Fig. 47: Composición interna de un código QR.

En la Fig. 47 vemos la estructura de un código QR, el cual contiene tres marcadores de posición, señalados con 4.1 en la figura, que se utilizan para reconocer rápidamente el código a través del escáner. También contiene un patrón de alineación, indicado con 4.2 en la figura, para detectar la inclinación respecto al lector y acelerar la lectura. En el interior del código se hallan los patrones de *Timing*, marcados con 4.3, para conocer fácilmente el tamaño del símbolo. Entre los datos mezclados con los símbolos correctores existen zonas reservadas para indicar la versión y el formato del código, señalados con 1 y 2, respectivamente. Las zonas marcadas con 3 en la figura indican aquellas destinadas a los datos y a la corrección de errores comentada anteriormente.

Los datos contenidos en estos códigos QR pueden ser de tipo numérico, alfanumérico, binario (ISO-8859-1) o Kanji/Kana (Shift JIS X 0208).

Aplicaciones

Dentro de las aplicaciones que existen basadas en códigos QR, podemos diferenciar entre las aplicaciones de generación de códigos y de las de lectura de códigos.

Las de lectura de códigos generalmente se basan en un mecanismo a partir del cual, una vez reconocido el código, redirigen la aplicación a una URL en el navegador del dispositivo. En algunos casos este contenido también puede mostrar los datos de un contacto o un texto. En estas aplicaciones, el código escaneado contiene una cadena de texto con la URL o los datos a mostrar por el terminal. De hecho, en algunas ciudades se utilizan como medio para enlazar a páginas con información sobre monumentos junto a los que están situados[10], facilitando la identificación y documentación de cara al turista o transeúnte.

Las aplicaciones de generación de códigos QR suelen estar orientadas a compartir contactos de la agenda o ubicaciones de GPS. Ejemplos de estas aplicaciones son QR Droid [11] o QRafter [12], que incluso permiten generar códigos a partir de eventos de agenda, textos o *tweets*.

Por otro lado, en algunos trabajos previos se ha tratado de aplicar los códigos QR para ayudar a personas invidentes[13], asociando sonidos o grabaciones de voz a códigos vinculados a objetos.

En cuanto a la Realidad Aumentada, hay una gran variedad de aplicaciones de este tipo. Las más atractivas son las que muestran un aumento del mundo real mediante la visualización de información sobre los elementos que se encuentran en el visor. Un ejemplo es la aplicación Theodolite [14], que aprovecha los componentes hardware del dispositivo para mostrar sobre el visor elementos topográficos del terreno que se está visualizando.

La unión de ambas tecnologías –códigos QR y Realidad Aumentada, se puede encontrar en algunas aplicaciones generalmente orientadas al marketing. En éstas, el código QR actúa tanto de marcador para realizar el *tracking*[15] como de fuente de datos para recoger la información necesaria al

mostrar un recurso en el dispositivo, ya sea una imagen o un video. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones es Onvert [2], ya presentada anteriormente.

En el mundo educativo, estas aplicaciones no están lo suficientemente exploradas. Aun así, encontramos algunos trabajos relacionados en los que sí se aplican, como juegos interactivos orientados al aprendizaje [16]. Este es el caso de LearnAR [17], que por medio de marcadores superpone sobre la vista de la cámara del dispositivo dibujos relacionados con la materia a estudiar. También, la aplicación HELLO (*Handheld English Language Learning Organization*) [18] adopta las tecnologías de códigos QR y Realidad Aumentada para ayudar a mejorar el nivel de inglés de los estudiantes. Esta aplicación comprende un sistema *m-learning* (*mobile learning*), donde los estudiantes, mediante códigos QR y una aplicación para PDA de Realidad Aumentada, interaccionan y hablan en inglés con un compañero virtual.

PROPUESTA

Tras el análisis realizado sobre las actuales aplicaciones basadas en estas tecnologías (*análisis competitivo*), se ha llevado a cabo el diseño propio de un sistema que permite resolver la problemática enunciada con antelación, relacionada con la gestión de recursos educativos on-line por parte del profesor, no experto en tecnología, y sus estudiantes. Para ello, se ha llevado a cabo un proceso ingenieril, centrado en el usuario, cuyo principal objetivo es maximizar la usabilidad de la solución resultante. El proceso consta, a grandes rasgos, de las siguientes fases que se describen a continuación.

Análisis

La idea era construir una aplicación que permita tanto el flujo de la información como de los recursos docentes entre profesores y estudiantes. Dentro de las posibilidades tecnológicas que ofrecen los códigos QR junto a la Realidad Aumentada, los principales requisitos funcionales generales educidos para la aplicación fueron los siguientes:

1. **Autoría de recursos:** Los profesores deberán ser capaces de crear recursos y ponerlos a disposición de los estudiantes. Para ello es necesario una interfaz de usuario que lo permita de forma sencilla, y que genere un código QR identificativo y asociado a cada recurso.
2. **Gestión y modificación de recursos:** Los recursos y la información deben tener la posibilidad de ser modificados sin tener que cambiar el código QR asociado, de modo que tenga el menor impacto posible en su recuperación.
3. **Recuperación de recursos:** El estudiante podrá recuperar los recursos y la información escaneando el código QR generado por el profesor. La lectura se realizará mediante su dispositivo móvil de forma rápida, y el contenido se mostrará en la pantalla. Así, se mantendrá informado de las últimas actualizaciones de los recursos

y de la información, recibiendo sólo la información de su interés.

Además, para tener un enfoque basado en la usabilidad en el desarrollo de la aplicación, se han fijado también requisitos no funcionales relativos a la usabilidad:

- 1) **Simplicidad:** Dado que se pretende implementar un sistema apto para distintos tipos de materias, no debemos suponer que los profesores tendrán conocimientos avanzados en informática, por lo que la acción de subir un recurso ha de ser transparente y simple.
- 2) **Facilidad de uso:** Se procurará la facilidad de uso de ambas herramientas, disminuyendo la expresividad en aras de una mayor facilidad de uso, y suponiendo la menor carga cognitiva posible para el usuario final.
- 3) **Facilidad de aprendizaje:** se requiere que todas las funcionalidades de la aplicación, tanto en su parte de autoría como en la aplicación móvil de lectura, sean fáciles de recordar y aprender, con el menor impacto posible para el usuario, disminuyendo la carga cognitiva y ajustando las tareas al modelo mental de los usuarios finales.

Diseño

Teniendo en cuenta los requisitos educidos, se realizó el diseño de la aplicación. Como se puede ver en el despliegue arquitectónico mostrado en la en Fig. 48, la aplicación consta de dos partes principales, la interfaz web y la aplicación móvil. Ambas se comunicarán con un servidor web, y los recursos se almacenarán en una base de datos. Entrando más en detalle, estos son los componentes básicos de la arquitectura:

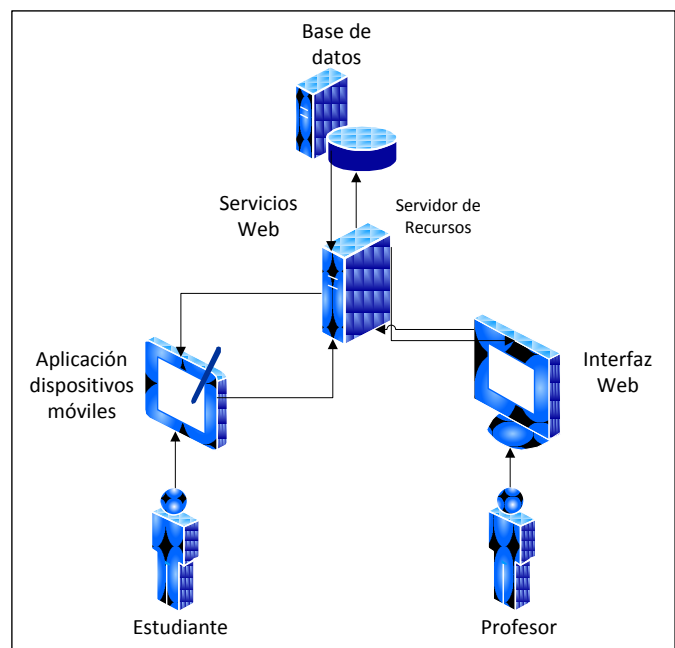


Fig. 48: Despliegue arquitectónico de la aplicación construida.

Interfaz web: Esta aplicación está pensada para ser utilizada por el educador, y con ella podrá acceder a una aplicación web para subir recursos educativos e información asociados a determinadas asignaturas. Esta aplicación almacenará la información y los recursos en forma de vídeos, imágenes o documentos. Además, contendrá información sobre las asignaturas de los distintos cursos. Desde aquí se podrán gestionar también las características de las asignaturas. Al subir un recurso a la aplicación, ésta, tras almacenarlo en la base de datos, generará automáticamente un código QR de acceso, el cual podrá ser ubicado por el profesor en un lugar accesible por los estudiantes, ya sea en los propios apuntes de la asignatura o en un tablón de anuncios. Este código contendrá la información asociada a la asignatura, el tipo de recurso y los datos para obtenerlo del servidor. Se añade la posibilidad de actualizar el recurso sin necesidad de modificar el código QR generado previamente, por lo que las correcciones o modificaciones en la información serán recibidas sistemáticamente por parte de los estudiantes.

Aplicación para dispositivos móviles: Esta aplicación, realizada inicialmente para el sistema operativo iOS de Apple, está pensada para el estudiante, y con ella podrá escanear códigos QR para obtener y visualizar in situ los recursos educativos elaborados previamente por el profesor. Al escanear el código QR, la aplicación traducirá los datos, solicitando al servidor de recursos la información o recurso educativo requerido para mostrar en pantalla. El estudiante podrá configurar previamente las asignaturas de su interés de modo que, para el caso de códigos de carácter informativo sobre varias asignaturas, sólo reciba en el dispositivo las alertas sobre aquellas que haya configurado, obviando el sistema el resto de información.

Servicios web: Se trata de un API web RESTful[19], que servirá a la interfaz web, y además se comunicará con la aplicación para dispositivos móviles, devolviendo los recursos tras sus peticiones. La generación de los códigos QR se realiza mediante la librería ZXing [20], ya que es de código abierto y multiplataforma. El contenido del código codificará una cadena de texto. Esta cadena contendrá en primer lugar un código de identificación de la aplicación, para que el dispositivo reconozca cuáles son los generados por el sistema y pueda desechar los códigos QR ajenos a la aplicación. También incluirá un código de asignatura, mediante el cual el dispositivo solicitará la información o la ignorará, dependiendo de la configuración del usuario sobre dicha asignatura. Por último, en el código viajará un identificador de recurso, que será el que use el servicio web descrito anteriormente para buscar el recurso en la base de datos y entregarlo cuando reciba la petición desde el dispositivo móvil.

Base de datos: Sirve para almacenar la información requerida por los servicios web, guardando la información asociada a recursos en una base de datos documental. Para agilizar el flujo de los datos y el envío de los archivos al terminal, la base de datos está implementada bajo

GridFS[21]. El resto de datos de la aplicación, relativos a usuarios, asignaturas y metadatos de recursos, se guardan en la base de datos en entidades normales, sin necesidad de usar GridFS.

Escenarios de Aplicación

Se han ideado distintos escenarios relacionados con la actividad docente para los que la aplicación ideada puede resultar de utilidad.

Por un lado, el profesor tiene la posibilidad de confeccionar apuntes de la manera habitual (de forma impresa o digital para su distribución), pero incluyendo imágenes y vídeos que, mediante los códigos QR, el estudiante podrá ver con la aplicación de su *smartphone*, aumentando y ampliando así la información de los apuntes. Este caso de uso se muestra en el diagrama de la Fig. 49, donde el profesor podrá gestionar estos recursos usando la aplicación y guardando el código QR que genera. Así el profesor podrá subir, utilizando la interfaz web, una imagen o vídeo relacionado con la temática de una asignatura, generando la aplicación un código QR asociado. Este código lo insertará en los apuntes o material que distribuirá a los estudiantes. Después, los estudiantes, mediante la aplicación para dispositivos móviles, escanearán el código QR distribuido por el profesor y obtendrán la imagen asociada a este código.

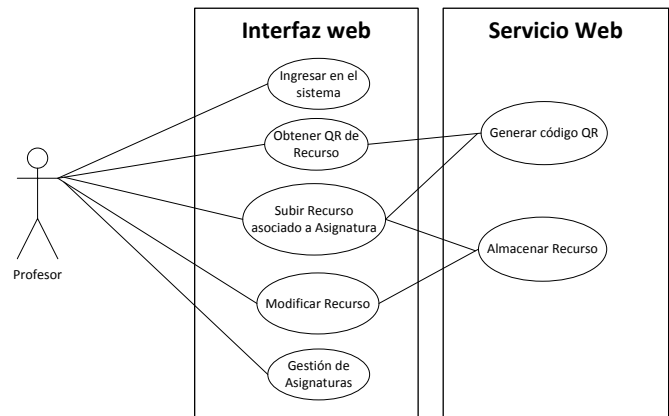


Fig. 49: Caso de uso de la gestión de contenido por parte del profesor.

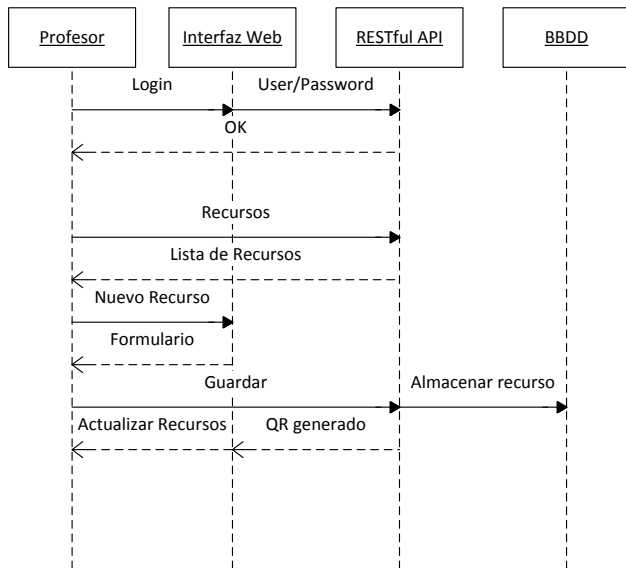


Fig. 50: Diagrama de secuencia que representa la creación de recursos por parte del profesor.

La ventaja de este sistema es que el profesor puede decidir actualizar el recurso docente, es decir, cambiar la imagen o el vídeo por otro, pero el estudiante no tendrá que actualizar sus apuntes ni imprimirlos de nuevo, ya que el mismo código QR que tiene en sus notas le permitirá visualizar, descargándose automáticamente desde el servidor, el nuevo recurso actualizado por el profesor.

A continuación se muestra de forma más detallada la parte de este caso de uso relativa a la forma en la que el profesor crea un nuevo recurso. Para ello, como se muestra en el diagrama de secuencia de la Fig. 50, en primer lugar el profesor deberá entrar con su usuario en la aplicación web. Esta pantalla de inicio se muestra en Fig. 51. Para añadir un nuevo recurso pulsará en “Ver y gestionar recursos”.



Fig. 51: Pantalla de inicio de la aplicación tras entrar con el usuario del profesor.

Seguidamente, se pasará a la siguiente pantalla (ver Fig. 52), donde además de visualizar la lista de asignaturas y recursos actuales podrá seleccionar la opción “nuevo recurso” para crear uno nuevo.



Fig. 52: Lista de recursos, con una muestra del fichero y el código QR asociado generado.

Tras elegir crear un nuevo recurso, accederá al formulario para la subida de ficheros (ver Fig. 53). En esta pantalla el profesor deberá seleccionar el “Tipo de recurso” (imagen, vídeo, fichero o texto). En el caso de imágenes, serán compatibles los ficheros que se pueden mostrar en todos los dispositivos móviles habitualmente: JPEG, PNG y GIF. Para vídeo, los formatos compatibles son MOV y MPEG4. Además, deberá seleccionar un fichero (“Recurso”) para subir al servidor. En caso de seleccionar “texto”, se asociará a un código QR genérico, o a uno nuevo, y deberá rellenar el campo “Información” con el texto que desea que aparezca en la pantalla del dispositivo del estudiante. También, deberá seleccionar la asignatura relacionada con la información subida dentro de la lista disponible.

Una vez guardado el recurso (botón “Guardar”), el sistema generará automáticamente el código QR que contendrá información acerca de la asignatura y del tipo de recurso seleccionado, así como un identificador para poder solicitarlo posteriormente desde el dispositivo móvil al servidor.

Finalizada esta operación, al profesor le aparecerá el nuevo registro creado en la lista de recursos disponibles, tal y como se aprecia en la Fig. 52, mostrando una pre-visualización del recurso y del código QR generado. Desde esta pantalla podrá guardar el código QR en formato imagen, para poder

insertarlo en los apuntes de la asignatura. También desde aquí, se podrá seleccionar un recurso para editar la información o el archivo asociado, sin que por ello se modifique el código QR generado originalmente.

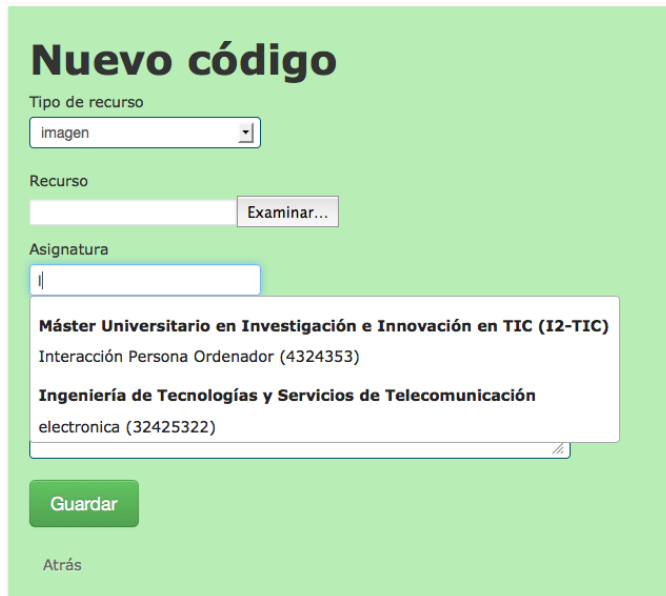


Fig. 53: Formulario para la subida de recursos asociados a asignaturas

podrá escanearlo pulsando el botón correspondiente en la aplicación. En ese momento, en el dispositivo móvil tendrá la visión de la cámara, con la que deberá enfocar el código QR para poder ser escaneado. En Fig. 56 vemos la acción del enfoque de la cámara del dispositivo del estudiante sobre el código que se muestra en unos apuntes impresos donde el profesor ha insertado un código QR para visualizar una imagen que ilustra la información de los apuntes suministrados.

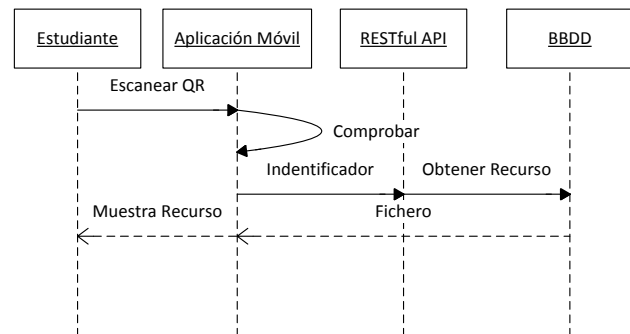


Fig. 55: Diagrama de secuencia para el escaneo y visualización de un recurso, asociado a un código QR, por parte del estudiante desde la aplicación móvil.

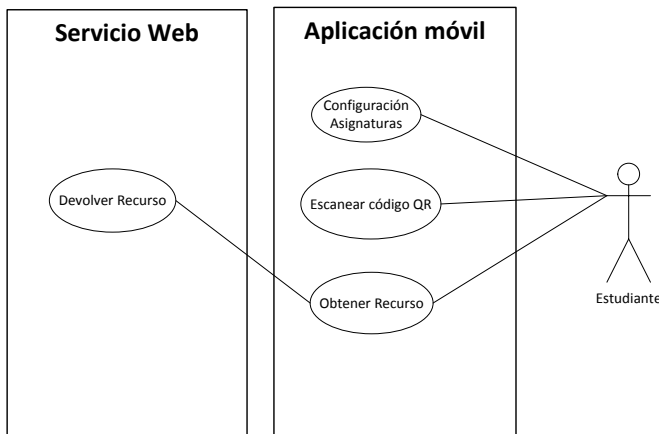


Fig. 54: Caso de uso de la obtención de contenidos por parte del estudiante.

Una vez que el código se haya distribuido a los estudiantes, estos podrán acceder al contenido mediante la aplicación móvil tal y como se refleja en el diagrama de caso de uso de la Fig. 54, donde el estudiante podrá configurar las asignaturas en las que esté matriculado y de las que desee información, y escanear un código QR para obtener el recurso correspondiente. La única configuración requerida, aunque no obligatoria, es la selección del título y asignaturas cursadas durante el curso para personalizar aún más la información.

Como vemos en el diagrama de secuencia de Fig. 55, cuando el estudiante encuentre un código QR en sus apuntes,



Fig. 56: La aplicación móvil del estudiante enfocando el código QR en unos apuntes impresos distribuidos por el profesor.

Cuando la aplicación detecte el código QR y lo interprete, enviará al servidor los datos del identificador, y éste le devolverá el archivo con el recurso asociado en la base de datos. De esta forma, el dispositivo móvil mostrará una imagen, vídeo, etc. en el área en el que se encuentre el código QR, superponiéndolo sobre él (ver Fig. 57).

La aplicación permite además guardar el archivo en el dispositivo para tenerlo disponible posteriormente sin necesidad de escanear de nuevo el código QR para visualizar el recurso. De este modo, el estudiante puede seguir teniendo acceso a los recursos descargados en caso de no tener conexión a internet en ese momento.

Aparte del escenario descrito en detalle, otro escenario de uso posible es la visualización de clases o charlas en diferido. De esta forma, el profesor puede grabar su clase y subir el material de vídeo al servidor, colocando el código QR generado y asociado al recurso en un lugar visible del aula. De esta forma, el estudiante podrá descargárselo y visualizar la clase sin problema en caso, por ejemplo, de que no hubiera podido asistir al aula en ese momento.

También, el sistema puede ser usado a modo de tablón de anuncios. De esta forma, en lugar de subir un fichero asociado a una asignatura, el profesor introduciría información actualizada asociada a las distintas asignaturas y a un código

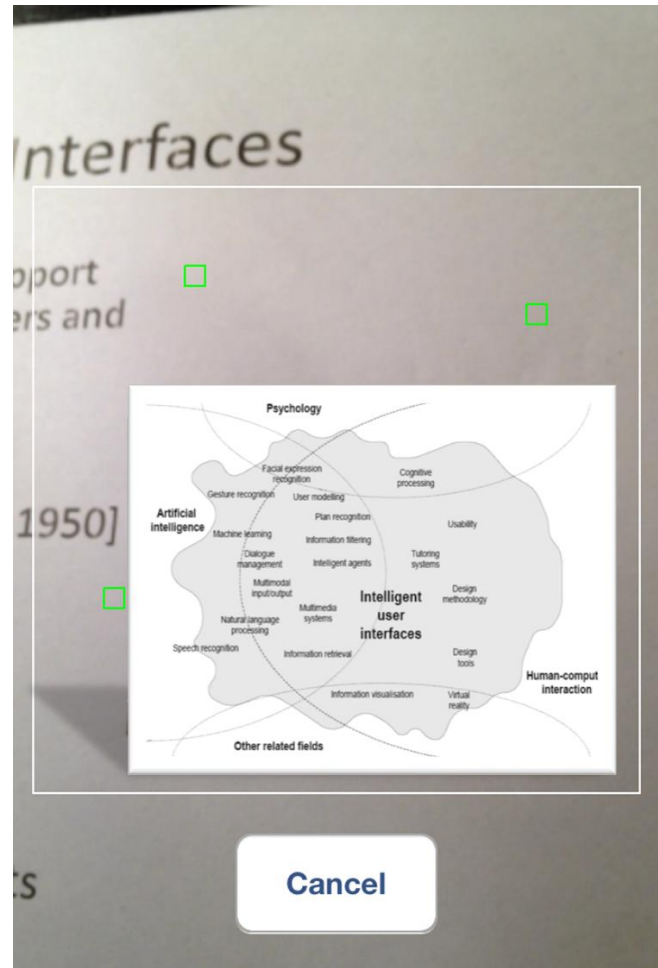


Fig. 57: El resultado de escanear el código QR –visualización del recurso asociado (ver Fig. 10).

QR de tipo genérico asociado a un texto de información, como se explicó anteriormente. Este código se colocaría en un lugar visible y accesible para los estudiantes. Como se muestra en el diagrama de secuencia de la Fig. 58, el estudiante interactúa con el código generado y el sistema para obtener alertas sobre eventos de interés asociados a las asignaturas.

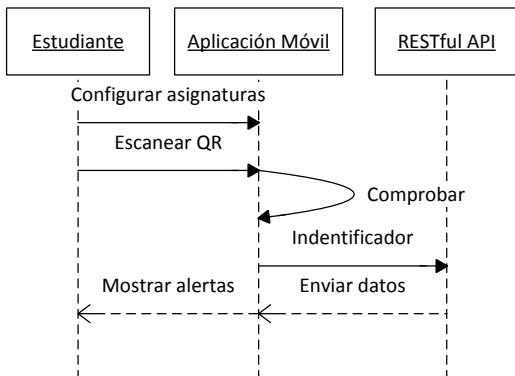


Fig. 58: Diagrama de secuencia para la recepción de eventos.

Es estudiante debe de haber seleccionado previamente las asignaturas de su interés, configurando la aplicación mediante la lista disponible (ver Fig. 59). Una vez hecho esto, la aplicación móvil enviará los códigos de asignaturas de las que se requieren notificaciones, y el servicio web devolverá los eventos creados por el profesor y asociados a este código.

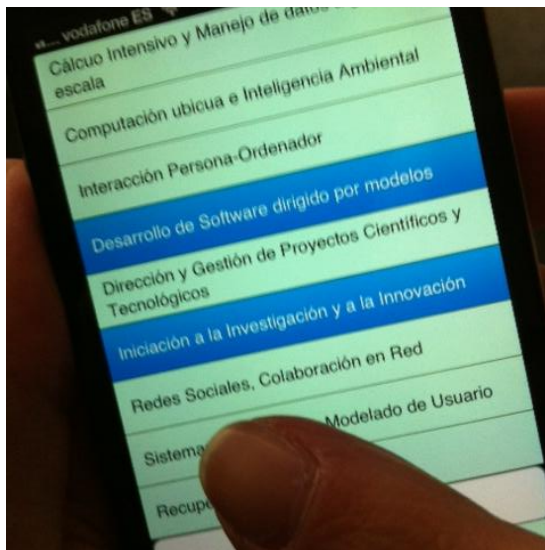


Fig. 59: Configuración de asignaturas por parte del estudiante.

De esta forma, cuando el estudiante escanee el código, obtendrá una lista de los últimos mensajes y eventos asociados a las asignaturas que haya seleccionado por medio de un mensaje de tipo alerta mostrado en la pantalla del dispositivo (ver Fig. 60). Por ejemplo, si un profesor quiere comunicar una conferencia o la fecha de entrega de un trabajo en concreto, lo anotaría en la interfaz Web. Así, los estudiantes que tengan marcada esa asignatura en la aplicación, al escanear el código QR del tablón de anuncios, visualizarían en el dispositivo móvil una alerta. La alerta, estilo *pop-up*, tendría como título el nombre de la asignatura,

y en el texto aparecería la conferencia o el trabajo a entregar, así como la fecha tope. Esto mismo podría ser aplicado a horarios de exámenes, o cambios de horarios. De este modo el estudiante podría obtener estos recordatorios con facilidad, acudiendo a un código en un tablón de anuncios genérico para todo el centro, sin necesidad de tener un tablón de anuncios específico para cada asignatura.

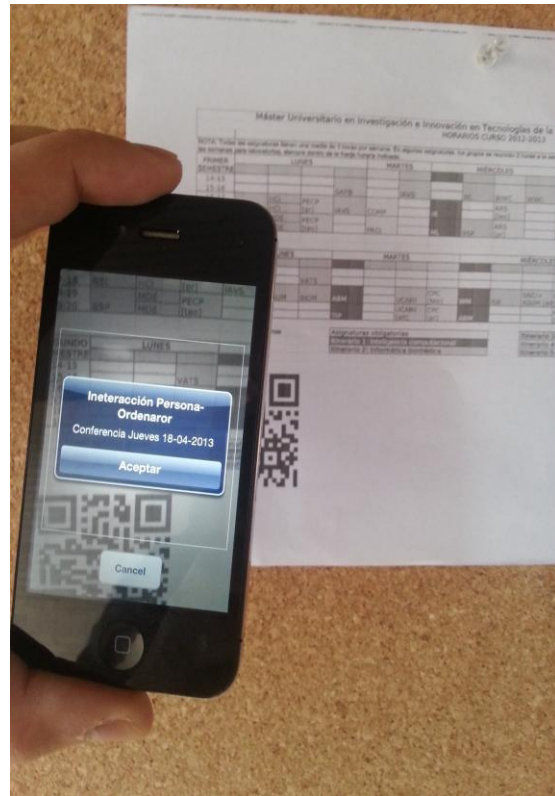


Fig. 60: Recepción de alerta a través de código QR por parte del estudiante.

Aparte, el mecanismo propuesto es suficientemente flexible como para considerar otro tipo de usos que pudieran ser de interés en el entorno educativo para la gestión de recursos entre estudiantes y profesores. Algunos de estos otros casos de uso se describen brevemente a continuación:

- Visualización codificada de calificaciones de asignaturas. El profesor publica un código QR para que los estudiantes accedan a las calificaciones de una asignatura concreta, y la aplicación móvil del estudiante, una vez escaneado el código, le muestra sobre él su calificación.
- Agenda de eventos del centro. Desde la secretaría del centro se actualiza la agenda de eventos próximos, como actos, actividades de interés público o fechas límite para asuntos administrativos, de modo que los estudiantes puedan estar enterados de estas fechas.
- Enlaces a bibliografía y otro material docente. El profesor puede mantener un código QR con un link permanente, mediante el cual los estudiantes

accederán a la información con las últimas adiciones y actualizaciones.

- Acceso a otro tipo de recursos en redes sociales y plataformas *e-learning*. El profesor puede hacer referencia a material o información de asignaturas que se encuentren en otros repositorios de información. Para ello, se pueden generar códigos QR que permitan apuntar a recursos ubicados en redes sociales y plataformas de aprendizaje a distancia como Moodle.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se propone un sistema para la mejora en el acceso y disponibilidad de recursos educativos on-line. Para ello, se utiliza la combinación de códigos QR y Realidad Aumentada como mecanismos de procesamiento y visualización de recursos educativos específicos en distintos contextos de uso.

De esta forma, los profesores podrán subir recursos e información de interés sin necesitar conocimientos específicos ni una herramienta compleja. Estos recursos podrán ser actualizados además de modo transparente para los estudiantes, sin que esto implique cambios en los códigos QR que se generaron y distribuyeron con anterioridad.

Los estudiantes, por su parte, estarán informados de eventos de interés, y mejorarán la calidad de su material docente con la base tecnológica de la que disponen en sus *smartphones* hoy en día.

Dada la sencillez del mecanismo, es de esperar una curva de aprendizaje poco abrupta, debido a la simplicidad de ambas herramientas. Por otro lado, ambas interfaces ofrecen facilidad de uso y poca expresividad para el usuario, el creador y el consumidor de contenido. En concreto, esta investigación está basada en el paradigma del Desarrollo por el Usuario Final (en inglés EUD –*End-User Development*) [22] cuyo objetivo es proporcionar a usuarios finales, no expertos en informática pero sí en su dominio de aplicación, herramientas y sistemas específicos para crear y gestionar artefactos software como, en este caso, recursos educativos on-line.

En un futuro próximo, se llevará a cabo un test específico de usabilidad, tanto en la herramienta cliente como en la del servidor, con la idea de medir la usabilidad final alcanzada por las herramientas y probarlas con profesores y estudiantes bajo un entorno educativo real.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido subvencionada por el Ministerio de Educación, proyectos TIN2011-24139 y TIN2011-15009-E, y la Comunidad de Madrid, proyecto S2009/TIC-1650

REFERENCIAS

- [1] M. Brownlow, "Smartphone statistics and market share," 2012. [Online]. Available: <http://www.email-marketing-reports.com/wireless-mobile/smartphone-statistics.htm>.

- [2] onvert, "onvert." [Online]. Available: <http://onvert.com>.
- [3] P.-L. P. Rau, G. Qin, and L.-M. Wu, "Using mobile communication technology in high school education: Motivation, pressure, and learning performance," *Computers & Education*, vol. 50, pp. 1–22, 2008.
- [4] I. Poupyrev, D. Tan, and M. Billinghurst, "Developing a generic augmented-reality interface," *Computer*, pp. 2–8, 2002.
- [5] M. Gervautz and D. Schmalstieg, "Anywhere interfaces using handheld augmented reality," *Computer*, pp. 26–31, 2012.
- [6] Wikipedia Contributors, "QR code," 2013. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/QR_code.
- [7] comScore, "QR Code Usage Among European Smartphone Owners Doubles Over Past Year," 2012. [Online]. Available: http://www.comscore.com/Insights/Press_Releases/2012/9/QR_Code_Usage_Among_European_Smartphone_Owners_Doubles_Over_Past_Year.
- [8] INTERNATIONAL STANDARD ISO/IEC 18004:2006, "Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR Code 2005 bar code symbology specification," 2009.
- [9] Wikipedia Contributors, "Reed–Solomon error correction," 2013. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Reed%E2%80%93Solomon_error_correction. [Accessed: 10-Apr-2013].
- [10] Europa Press, "Turismo de Segovia implanta códigos QR junto a diez monumentos y en 80.000 servilletas de restaurantes," 05-Jul-2012.
- [11] DroidLa Limited, "QR Droid Zapper." [Online]. Available: <http://qrdroid.com/default.php>.
- [12] Kerem Erkam, "QR Code and 2D Code Generator," 2010. [Online]. Available: <http://keremerkam.net/qr-code-and-2d-code-generator/>.
- [13] H. S. Al-khalifa, "Utilizing QR Code and Mobile Phones for Blinds and," in *Computers Helping People with Special Needs*, 2008, pp. 1065–1069.
- [14] Hunter Research and Technology LLC, "Theodolite iPhone App," 2012. [Online]. Available: <http://hrtapps.com/theodolite>.
- [15] S. Cawood and M. Fiala, *Augmented reality: a practical guide*. Pragmatic Programmers, LLC, 2007, p. 311.
- [16] E. Klopfer, *Augmented learning: research and design of mobile educational games*. MIT Press, 2008, p. 251.
- [17] "LearnAR." [Online]. Available: <http://www.learnar.org>.
- [18] T.-Y. Liu, T.-H. Tan, and Y.-L. Chu, "2D Barcode and Augmented Reality Supported English Learning System," 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2007), no. Icis, pp. 5–10, 2007.
- [19] RichardsonLeonard and S. Ruby, *RESTful Web Services*. O'Reilly Media, 2007, p. 454.
- [20] zxing, "ZXing ('Zebra Crossing')," Apache License 2.0, 2012. [Online]. Available: <https://code.google.com/p/zxing>.
- [21] M. N. dos Santos, "GridFS: Targeting Data Sharing in Grid Environments," in *Sixth IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid Workshops*, 2006, p. 17.
- [22] J. A. Macías, "Aspectos pragmáticos en el Desarrollo por el Usuario Final," *Novática*, pp. 45–47, 2005.

Rubén Hernando Martín es estudiante de posgrado en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Autónoma de Madrid, cursando el Máster Universitario en Investigación e Innovación en TIC, en la rama de Software Centrado en el Usuario.

José Antonio Macías Iglesias obtuvo sus grados de Máster y Doctor en Ingeniería Informática en la Universidad Politécnica de Madrid y la Universidad Autónoma de Madrid, en 1999 y 2003, respectivamente.

Es Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Informática de la Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid. Sus áreas principales de investigación incluyen la Interacción Persona-Ordenador, la Ingeniería del Software y las Aplicaciones Educativas.

Dr. Macías pertenece a diferentes asociaciones científicas, como AIPO (Asociación para la Interacción Persona-Ordenador), donde participa como Vice-presidente, y el Capítulo Español de ACM-SIGCHI, donde participa como Co-chair. También ha obtenido diferentes premios y reconocimientos académicos, como el premio "Outstanding Paper Award" concedido por la IEEE Neural Networks Society.

APLICACIÓN PUBLICADA EN LA APPLE STORE

Dentro del sistema, la aplicación para dispositivos móviles desarrollada se ha publicado en la *Apple Store* según el protocolo establecido por Apple. Los datos de publicación son los siguientes:

- SKU: **rhM-EPSUAM-tfm-mi2tic**
- Bundle ID: **ruben.epsuam.ArQrInfo**
- Apple ID: **665447193**

